



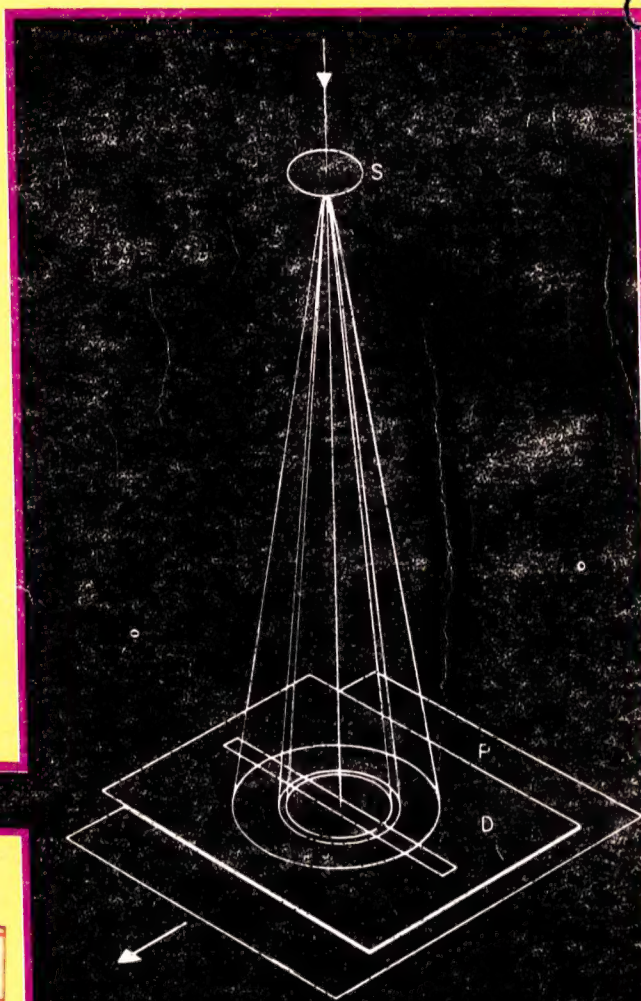
وزارة التعليم العالي  
والبحث العلمي  
الجامعة التكنولوجية

مهايدون (الموسيقى)

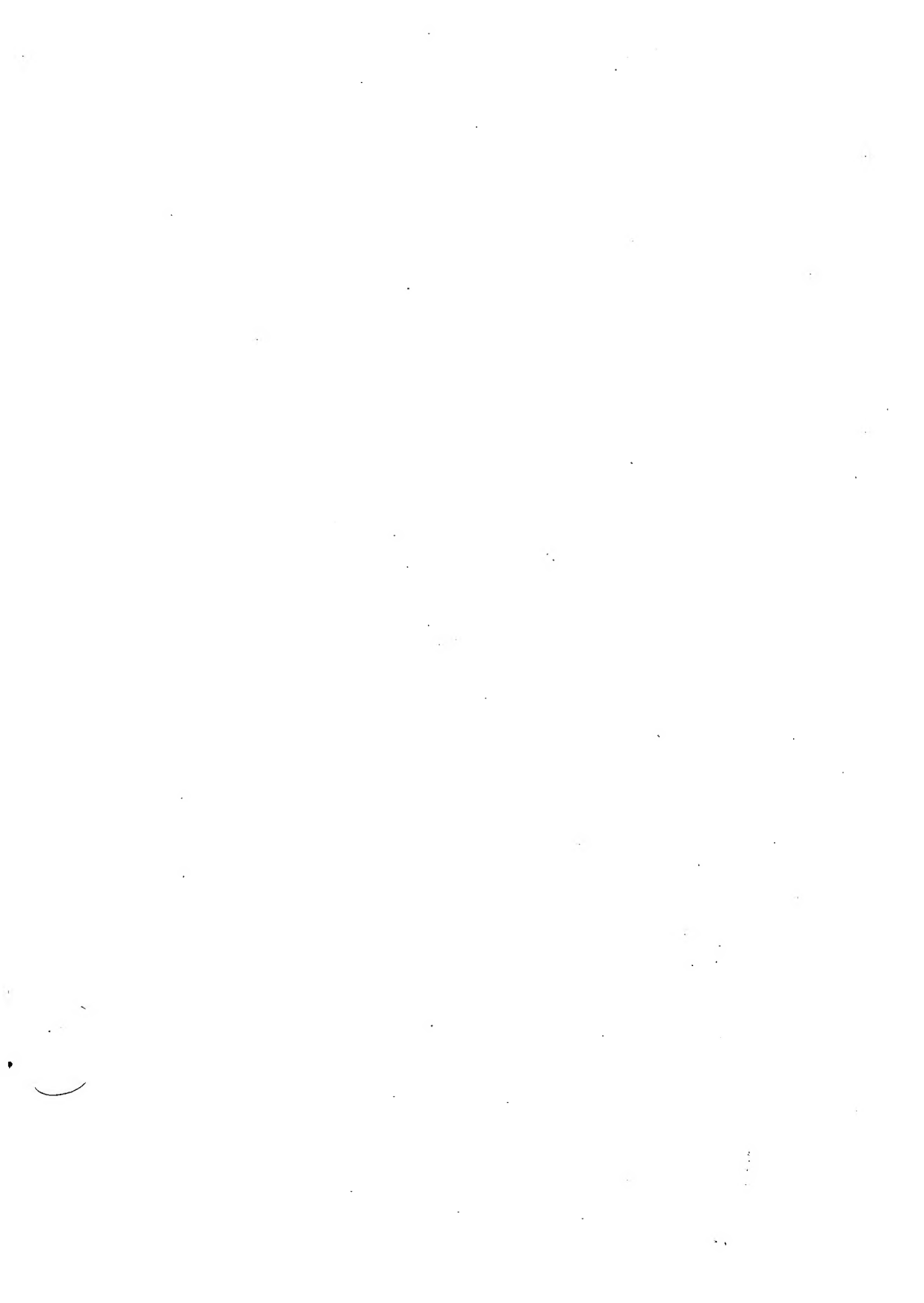
# فيزياء الحيود

الدكتور سامي مظلوم صالح

مهايدون (الموسيقى)

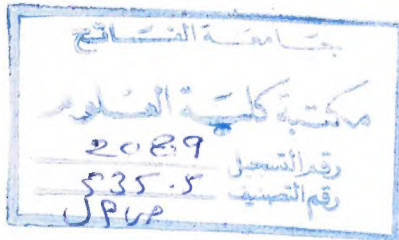


#7.500





وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
الجامعة التكنولوجية



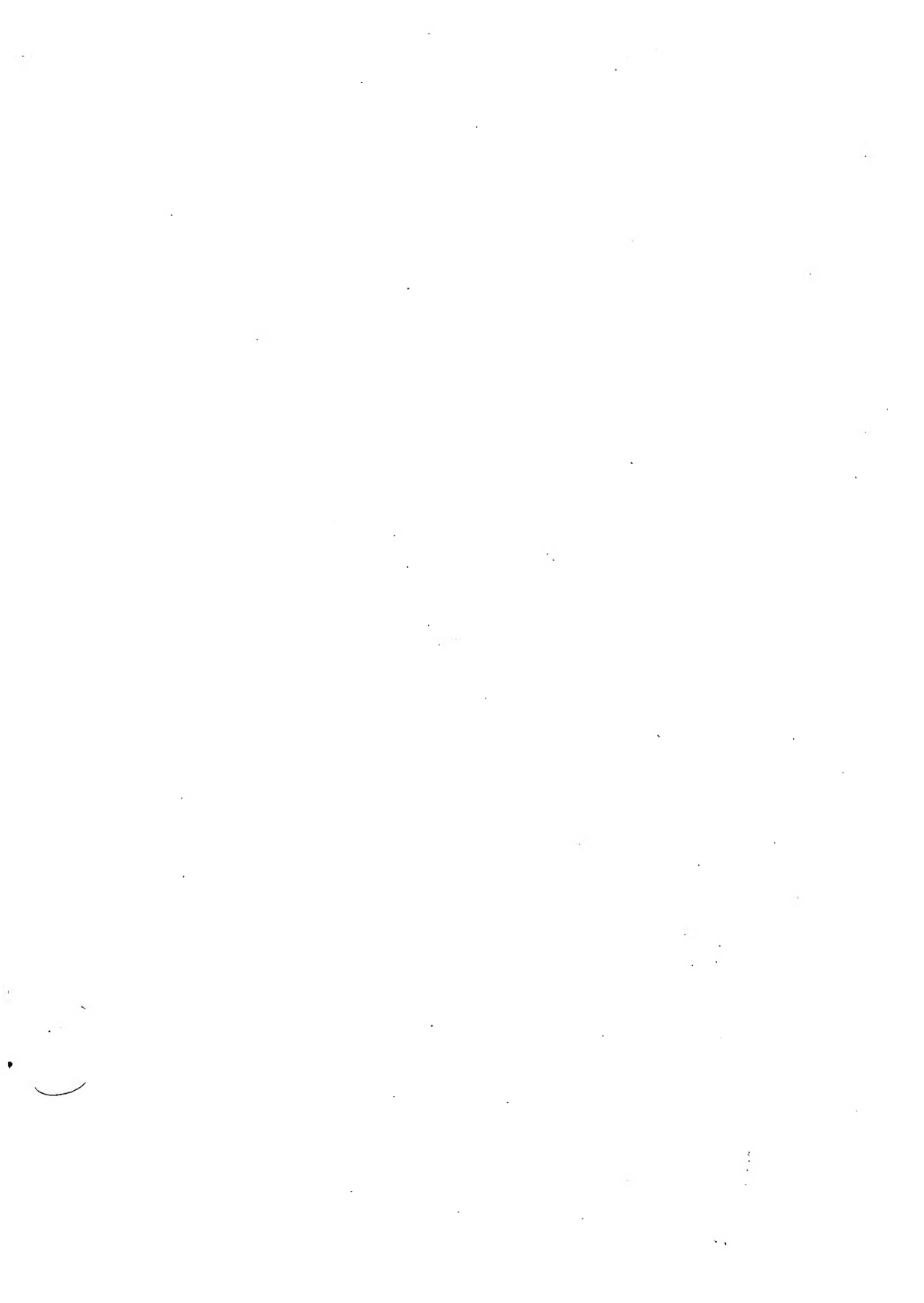
م.س. يوسف (اللويزي)

فيزياء الحيود  
Diffraction physics

الدكتور سامي مظلوم صالح  
ph. D. (cambridge)

استاذ مساعد  
قسم العلوم التطبيقية - الجامعة التكنولوجية

بغداد ١٩٨٢

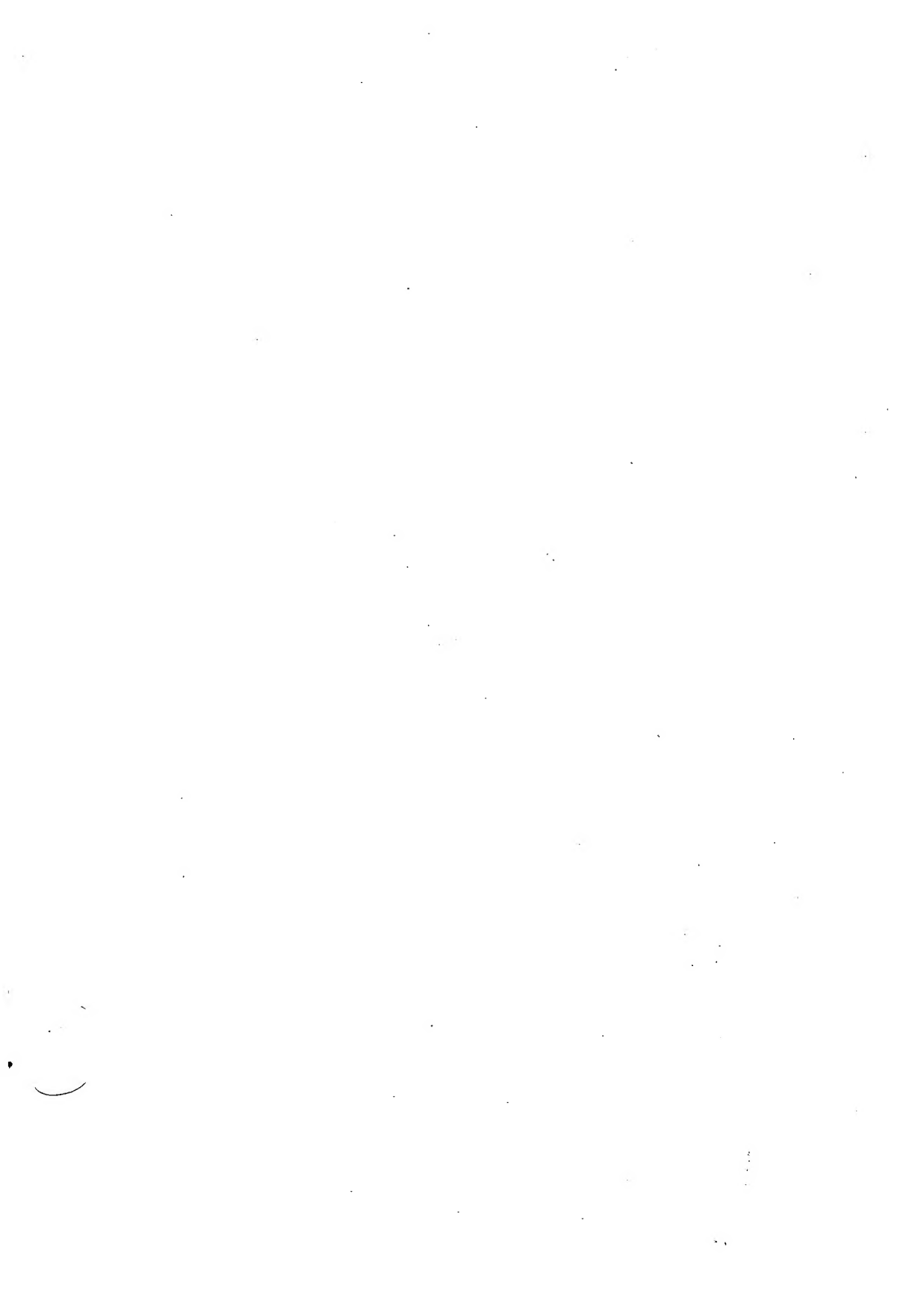


عيسى يوسف (الموسى)

الأهداء  
إلى... زَوْجَتِي وولدي  
وسام

متاح للتحميل ضمن مجموعة كبيرة من المطبوعات من صفحة  
مكتبتي الخاصة  
على موقع أرشيف الإنترنت  
الرابط

[https://archive.org/details/@hassan\\_ibrahem](https://archive.org/details/@hassan_ibrahem)

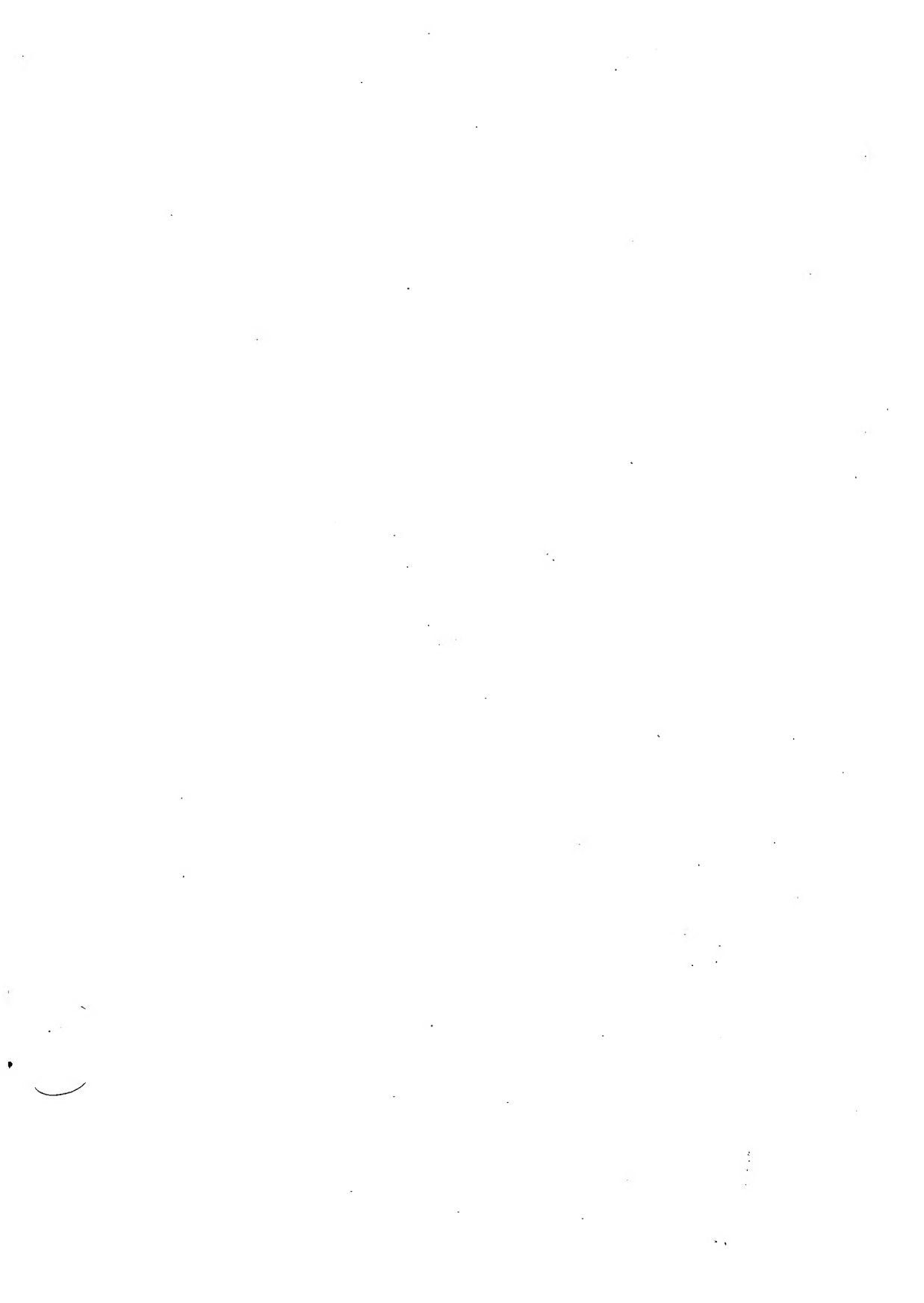


## المقدمة

فيزياء الحيود ، موضوع واسع ومتجدد ، ذو اهمية كبيرة في مجالات البحث بصورة عامة . ومع ان الحيود ظاهرة فيزيائية بحتة بالنسبة لبعض الفيزيائيين الا انه اداة فعالة بالنسبة لدراسة الحالة الصلبة مثلاً ، والحيود اداة المهندسين لدراسة المواد والكشف عنها ، وكذلك بالنسبة للدراسات والبحوث في مجال علم الحياة عند دراسة الفعاليات على المستوى الجزيئي والذري . فموضوع الحيود مثال حي على تشابك العلوم ، والتي هي سمة التكنولوجيا المعاصرة . ونظراً لخلو المكتبة العربية من مصادر في الحيود ، بدأت هذه المحاولة ، للكتابة في فيزياء الحيود ، حيود الضوء ، الاشعة السينية ، الالكترونات ، النيوترونات ، وبعض التطبيقات المهمة . وقد استفدت من تجربة قصيرة في تدريس هذا الموضوع لطلبة الدراسات العليا في كلية العلوم - جامعة بغداد - وكذلك طلبة الدراسات العليا في الجامعة التكنولوجية ، اضافة الى طلبة الدراسات الاولى . مضافاً الى ذلك تجربتي العملية في هذا الحقل لسنين عديدة . لا يمثل كل ذلك الا جزءاً يسيراً من محتويات هذا الكتاب ، معتمداً لانجاز الجزء الاكبر على المصادر الكلاسيكية في الموضوع ، محاولاً استثمار احدث ما كتب فيه . وبذلك يكون هذا الكتاب جهداً لغطاءات عدد كبير من الباحثين والذين كتبوا فيه . فهو في رأيي اقرب الى الاعداد منه الى التأليف وارجو ان اكون قد وفقت في ان اشير الى جهود الآخرين بأمانة واخلاص . وكل ما ارجوه هو ان يكون كتابي هذا مفيد لطلبة الفيزياء بصورة عامة وللمستغلين في حقل المعادن والحالة الصلبة بصورة خاصة . ولا بد ان اشير هنا ، بأني لا ادعي الكمال فيه ، وانما هو خطوة على الطريق . آمل ان استلم رأي الطلبة الاعزاء والمدرسين في فصوله ، لأقوم بالتنقيح والتطوير في المستقبل .

ولا بد ان اسجل شكري وتقديري لكافة الذين ساعدوني في اعداد الكتاب وخصوصاً امور طبع المسودات وتحضير الصور والمراجعة وغيرها . وبشكل خاص مركز التعريب في الجامعة التكنولوجية واخص منهم السيد عبدالحسين الخطيب . كما اسجل شكري لطلبة الدراسات العليا الذين قاموا بقراءة المسودات والتعليق عليها ومنهم السيد علي طالب . حيث بذل جهداً في مراجعة الفصول . كما اشكر الأئمة خالدة عبدالرحمن لاعمال السكرتارية الممتازة التي وفرتها لانجاز هذا العمل . ومن الله التوفيق

الدكتور سامي مظلوم صالح





متاح للتحميل ضمن مجموعة كبيرة من المطبوعات من صفحة

مكتبتي الخاصة

على موقع ارشيف الانترنت

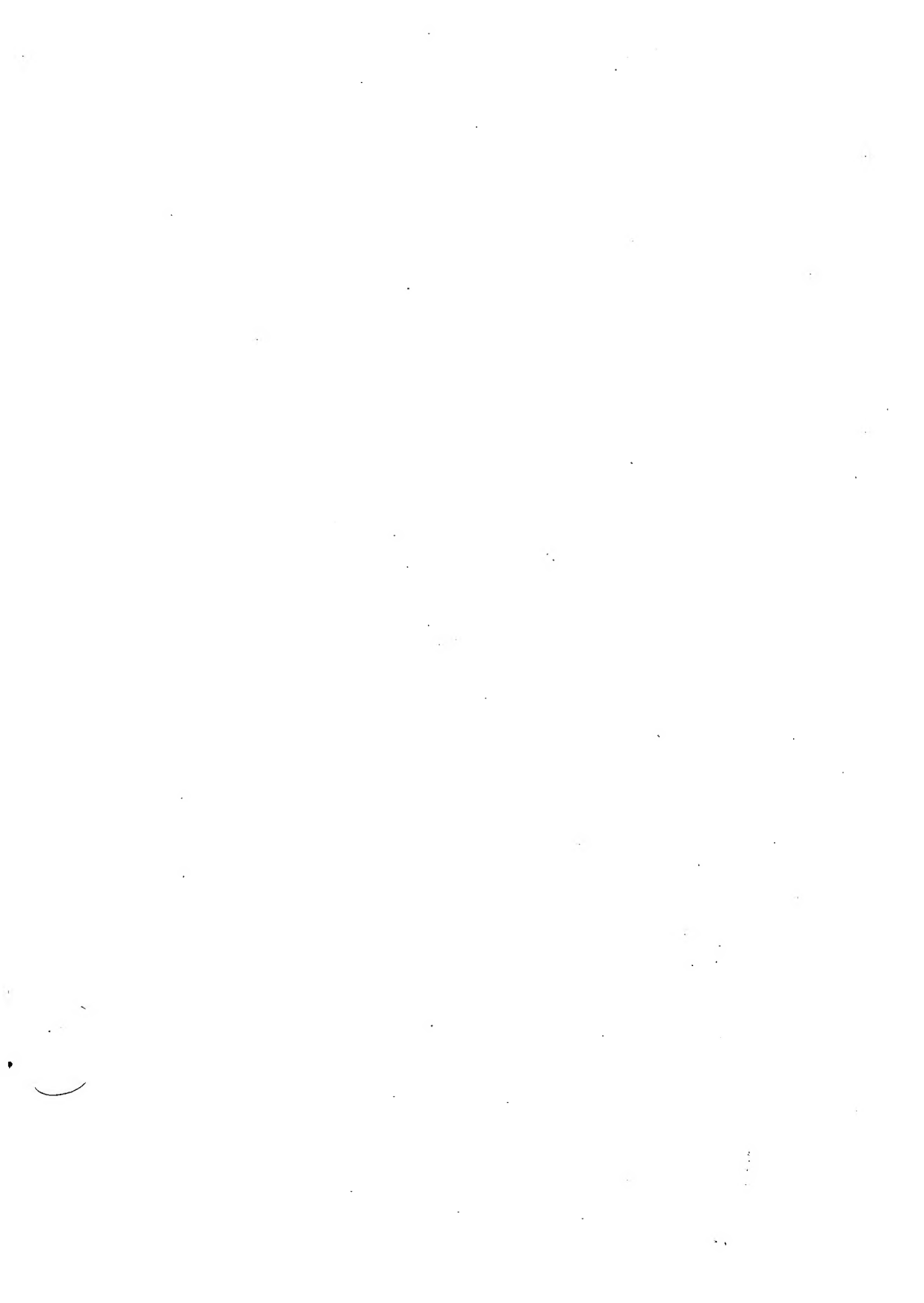
الرابط

[https://archive.org/details/@hassan\\_ibrahem](https://archive.org/details/@hassan_ibrahem)

عيسى يوسف الدمشقي

الفصل الاول

---



## 1-1 الوصف العام للحيود General Description of Diffraction

إذا وضعنا جسماً شفافاً في مسار الضوء ونظرنا الى ظله على شاشة خلف الجسم نرى حافة الظل التي تكون على الشاشة ليس محددة كما هو متوقع من قوانين البصريات الهندسية ( Geometrical optics ) . حيث توضح هذه الحالة في الشكل ( 1-1 ) ، فتظهر أصابع اليد محاطة بأهداب ( Fringes ) ، وهذا يعني ان الحافات ( edges ) غير محددة ( الاضلاع غير محددة ) ، إذ تظهر الاهداب المظلمة في المنطقة المضاءة . تعزى ظاهرة عدم تحدد الحافة بدقة تكوين الظل وظهور الاهداب المظلمة في المنطقة المضاءة الى ظاهرة انتشار الضوء بعد مروره بفتحات صغيرة نسبياً ، مثل فتحة الأبرة في جسم عاتم ، أو أية فتحة أو شق ( Slit ) ضيق .

إن المصطلح الذي يصف هذه الظاهرة يدعى بالحيود (Diffraction) ، حيث يشير الى حيود الضوء أو أية حزمة موجية عن المسار الأصلي ( الحيود من المسار المتوقع ) . ويمكن تفسير الملامح الرئيسة للحيود بواسطة قاعدة هايجنز ( Huygens principle ) وتنص هذه القاعدة في هيئتها الأصلية ، على التنبؤ أو فهم حركة الضوء الموجية على فرض ان كل نقطة في جبهة الموجة عبارة عن مصادر ثانوية تنشر الموجات الضوئية في جميع الاتجاهات .

( The Propagation of light wave can be Predicted by assuming that each point of the wave front acts as a source of asecondary waves that spread out in all direction)

حيث ان الغلاف ( envelope ) لهذه الموجات الثانوية هو جبهة الموجة الجديدة ويمكن ايضاح ما تقدم في الشكل ( 1-2 ) .

سنحاول في هذا الفصل معالجة ظاهرة الحيود بالتطبيق المباشر لقاعدة هايجنز بطريقة كمية ويتحقق ذلك اذا ما عبرنا عن قاعدة هايجنز بالعلاقات الرياضية والتي تدعى بتكامل فرينل - كريشوف ( Fresnel-Kirchhoff Integral ) . حيث يمكن حل جميع المسائل ، من الفتحات والشقوق والعوائق بواسطة هذه المعادلة كما سنرى في البند التالي :

## 2-1 النظرية الأساسية :- Fundamental theory

دعنا نتذكر نظرية كرين ( Green theory ) والتي مفادها ، انه اذا فرضنا

ان  $u$  و  $v$  تمثلان دالتين نقطيتين غير اتجاهيتين ( Scalar-Point function ) وتحققان الشروط الاعتيادية للاستمرارية والتكامل واذا تحققت هذه الشروط عندئذ يمكن كتابة المتطابقة التالية :

$$\iint (v \text{grad}_n U - U \text{grad}_n v) dA = \iiint (\nabla^2 U - \nabla^2 v) dV \quad (1-1)$$

حيث تمثل الجهة اليسرى للمتطابقة التكامل على اي سطح  $A$  مغلق ، كما تمثل

الجهة اليمنى التكامل على الحجم  $(v)$  المحدد بالسطح  $A$ .

ونعني بالحرف  $n$  المركبة العمودية على سطح التكامل.

لنفرض بصورة خاصة ان  $v$  و  $u$  هما دالتان موجيتان أي بعبارة اخرى يحققان المعادلتين التاليتين

$$\nabla^2 U = \frac{1}{U^2} \cdot \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} \quad , \quad \nabla^2 v = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 v}{\partial t^2}$$

وإذا كانت الدالتان  $u$  و  $v$  معتمدتين على الزمن  $(t)$  بشكل توافقي بهيئة  $e^{\pm i\omega t}$

( حيث  $\omega$  هي السرعة الزاوية للموجة و  $k = \sqrt{-1}$  ) وعليه فانه ليس من

الصعب ان نبين ان التكامل الحجمي ( الجهة اليمنى من المتطابقة (1-1) يساوي

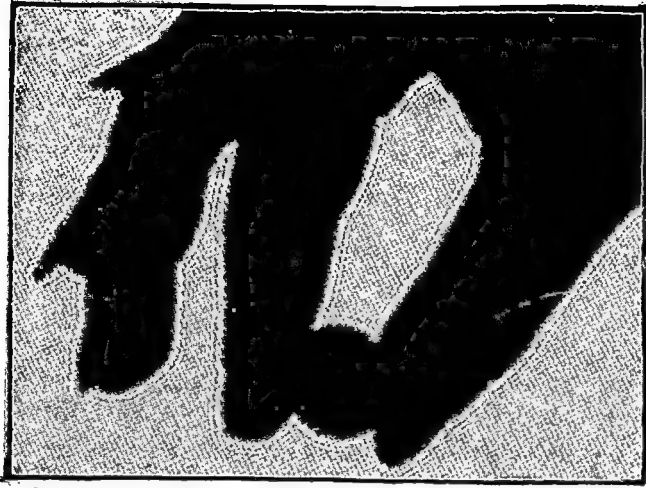
صفرًا ) وبذلك تختزل المتطابقة (1-1) الى ما يلي :

$$\iint (v \text{grad}_n U - U \text{grad}_n v) dA = 0 \quad (2-1)$$

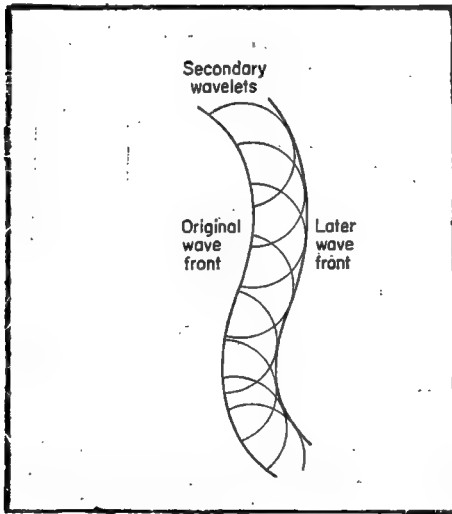
حيث  $v$  هي دالة موجية يمكن وصفها بالعلاقة :-

$$v = v_0 \frac{e^{i(Kr - \omega t)}}{r} \quad (3-1)$$

حيث  $K = \frac{2\pi}{\lambda}$  يدعى بالعدد الموجي ( wave number ) و  $\lambda$  هي طول الموجة



شكل (1- 1)



شكل (2- 1)

تمثل الدالة ( 3-1 ) دالة خاصة لموجة كروية تتجمع في نقطة  $p$  ( $r=0$ ) لنجعل الحجم المغلق والناتج عن التكامل محتويا للنقطة  $P$  وحيث ان الحجم يصبح لا نهائيا عند  $P$  ، لذلك يجب ألا يتضمن التكامل لهذه النقطة ( $p$ ) ، ويمكن برهنة هذه الحقيقة بالطرق الرياضية القياسية ، وذلك بطرح التكامل من كرة صغيرة ذات نصف قطر ( $\epsilon$ ) متمركزة في النقطة  $P$  ، كما هو مبين في الشكل ( 3-1 ) نصف قطر الكرة الصغيرة  $r = \epsilon$  ، وكذلك فإن

$$\text{grad}_n = -\frac{\partial}{\partial r}$$

لذلك يمكن كتابة :-

$$\begin{aligned} & \iint \left( \frac{e^{ikr}}{r} \text{grad}_n U - U \text{grad}_n \frac{e^{ikr}}{r} \right) dA \\ &= \iint \left( \frac{e^{ikr}}{r} \frac{\partial U}{\partial r} - U \frac{\partial}{\partial r} \frac{e^{ikr}}{r} \right) e^2 d\Omega \end{aligned} \quad (4-1)$$

حيث تمثل  $d\Omega$  تفاضل الزاوية المجسمة المتمركزة في  $p$  ،  $e^2 d\Omega$  هي المساحة التفاضلية المقابلة للزاوية اعلاه . وقد اختصرت العوامل المشتركة  $V_0 e^{i\omega t}$  من طرفي المعادلة . لنضع الان  $\epsilon$

تقترب من الصفر ( نصف القطر = صفر ) فيقترب التكامل في الحد الثاني من المعادلة (4-1) الى قيمة الدالة  $U$  في النقطة  $p$  أي تصبح  $U_p$  ، ويمكن الوصول الى هذه الحقيقة من اجراء تفاضيل التكامل المبينة ، لذلك يكون الحد الثاني كما يلي :

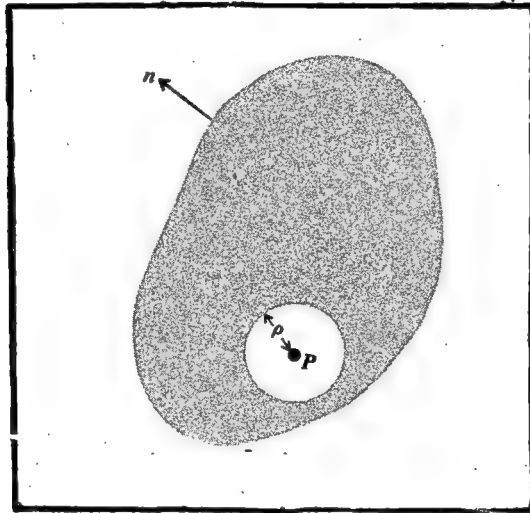
$$\iint U_p d\Omega = 4\pi U_p \quad (5-1)$$

وبترتيب المعادلة (1-4) مجددا ، تصبح بالشكل التالي :-

$$U_p = -\frac{1}{4\pi} \iint \left( U \text{grad}_n \frac{e^{ikr}}{r} - \frac{e^{ikr}}{r} \text{grad}_n U \right) dA \quad (6-1)$$

وتعرف هذه المعادلة بنظرية كيرشوف التكاملية ، حيث تربط قيمة دالة الموجة غير الانجاهيمية في اية نقطة داخل ذلك السطح وتطبيق نظرية كيرشوف على مسائل الحيود تصبح الدالة ( $U$ ) ممثلة للاضطراب البصري (optical disturbance)

محسن يوسف (الموسى)



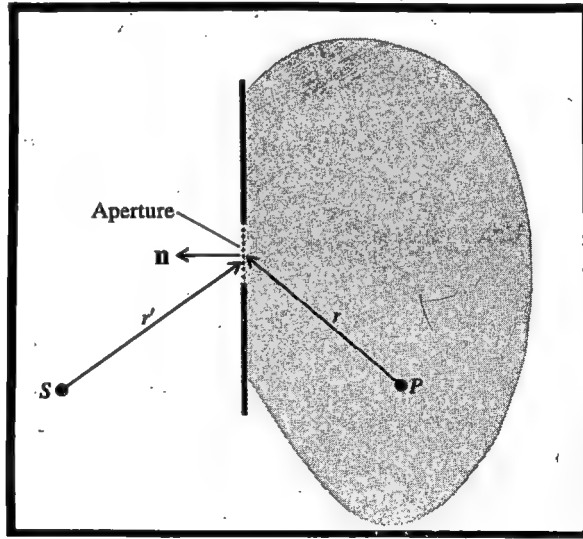
شكل (1- 3)

على كل حال فإن  $u$  هي دالة غير اتجاهية لذلك لا يمكن ان تعبر عن المجال الكهرو-مغناطيسي ( الضوء مثلا ) بشكل دقيق وصحيح ، لهذا تعتبر حلا تقريبا للمسألة وتدعى على هذا الاساس ( بالتقريب غير الاتجاهي ) ، حيث ان مربع الكمية المطلقة للدالة ( $u$ ) يمكن ان يمثل شدة الضوء في اية نقطة تحت الدراسة .

هناك معالجات رياضية لمسألة الحيود ، تأخذ بنظر الاعتبار طبيعة الضوء الاتجاهي (vectorial) ، ولكن تكون الرياضيات في هذه الحالة معقدة جداً وخارج مجال كتابنا هذا ، واذا رغب القارئ في النظر الى بعض الحالات البسيطة التي عولجت بالطريقة الاتجاهية فعليه الرجوع الى المصدر (Born and wolf)

### 1-3 معادلة فرنيل - كريشوف The Fresnel-Kirchhoff formula

نستمر فيما يلي في تطبيق معادلة كريشوف التكاملية في مسألة عامة لحيود الضوء ، ولنأخذ حالة حيود الضوء بواسطة فتحة صغيرة ذات شكل عشوائي في جسم معتم ، حيث يكون الجسم هذا حائلا بين مصدر الضوء ونقطة الملاحظة او التسلم كما في الشكل (4-1)



شكل (4-1)



المسألة الان هي تعيين الاضطراب في الضوء ( Disturbance ) الواصل الى نقطة P من المصدر (s) ، وبعبارة اخرى كيفية رؤية اوقياس توزيع شدة الضوء في النقطة P .

عند تطبيق معادلة كريشوف نختار سطحاً مغلقاً يحوي على النقطة المستلمة للضوء وتكون الفتحة جزءاً من السطح كما هو مبين في الشكل (1-4) لذلك يتطلب الامر أن نفترض الفرضيتين الأساسيتين التاليتين

- تكون المساهمة الفعالة للدالة (u) وانحدارها عند الفتحة (Aperture)

فقط وتهمل مساهمتها في أية نقطة خارجة اخرى

- تكون قيمتا الدالة (u) وانحدارها (grad n u) عند الفتحة مساوية

لقيمتها عند عدم وجود الحاجز ، وبعبارة اخرى سواء كانت الفتحة لوحدها او في الجسم المعتم تكون القيمة للدالة هي نفسها :

وبالرغم من ان هاتين الفرضيتين معرضتان للنقد والحوار ، الا ان نتائجهما أظهرتا توافقاً ممتازاً مع الملاحظات العملية .

وليكن  $\vec{r}$  معبراً عن نقطة على الفتحة نسبة الى مصدر الضوء (s) كما في الشكل ،

وبذلك يمكن التعبير عن الدالة بما يلي :

$$u = u_0 \frac{e^{i(kr' - \omega t)}}{r'} \quad (7-1)$$

وان هذه الدالة تمثل موجة كروية ذات لون احادي صادرة عن المصدر (S)

وبعد الاستفادة من النقاط اعلاه يمكن كتابة نظرية كريشوف التكاملية بالشكل التالي

$$U_P = \frac{U_0 \bar{E}}{4\pi} \iint_A \left( \frac{e^{iKr}}{r} \text{grad}_n \frac{e^{iKr'}}{r'} - \frac{e^{iKr'}}{r'} \text{grad}_n \frac{e^{iKr}}{r} \right) dA \quad (8-1)$$

ولنعبر ان ( n, r ) تمثل الزاوية بين المتجه r والعمودي (n) على السطح

التكاملي .

وبذلك يمكن ان نكتب المعادلة التالية :

$$U_p = - \frac{ikU_0 e^{wt}}{4\pi} \iint_A \frac{e^{ik(r+r')}}{rr'} [\cos(n,r) - \cos(n,r')] dA \quad (9-1)$$

وتعرف هذه المعادلة بصيغة كيرشوف (Kirchhoff integral)

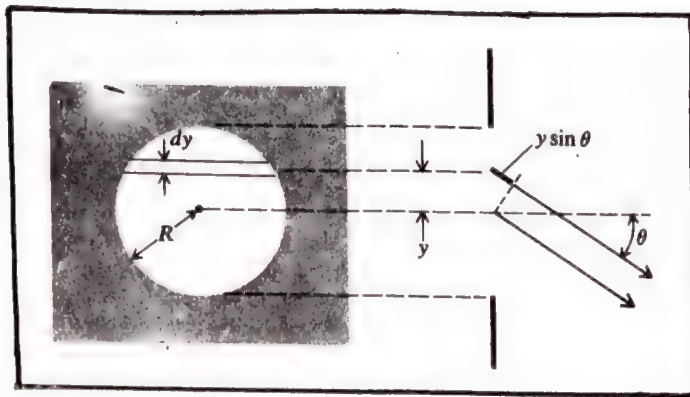
التكاملية وفي الحقيقة ان المعادلة ( 9 - 1 ) هي تعبير رياضي لقاعدة هايجنز .  
ويمكن التأكد من ذلك بتطبيق المعادلة على بعض الحالات الخاصة . مثل فتحة  
دائرية ، ومصدر ضوئي ذي وضع تناظري كما في الشكل ( 5 - 1 ) اذ أن الشكل  
يأخذ سطح التكامل في هذه الحالة على شكل نصف كروي محدد بأبعاد الفتحة ، حيث  
يكون  $r'$  ثابتا (constant) و  $\cos(n,r) = -1$  وبذلك تختزل معادلة  
فرنيل كيرشوف الى ما يلي .

$$U_p = \frac{-ik}{4\pi} \iint_A U_A \frac{e^{i(kr-wt)}}{r} [\cos(n,r) + 1] dA \quad (10-1)$$

حيث ان

$$U_A = U_0 \frac{e^{ikr}}{r'}$$

يمكن استنباط التفسيرات التالية من المعادلة ( 10 - 1 ) : إن  $U dA$  تمثل  
السعة المركبة للموجة الابتدائية الساقطة عند الفتحة ، وان كل جزء من الفتحة ( $dA$ )



شكل ( 5 - 1 )

يكون مصدرا للموجات الكروية الثانوية بالنسبة للموجة الاصلية الساقطة حيث تمثل بالمعادلة :

$$dA \quad ( \text{الموجة الكروية الثانوية} ) \quad A e^{(kr-wt)}$$

المنتجة من كل  $dA$

لذا فإنه يمكن الحصول على التوزيع الكلي او النهائي للضوء في النقطة (P) وذلك بعملية جمع الموجات الثانوية من كل جزء من ( dA ) في النقطة ( P ) كما يجب ان نأخذ بنظر الاعتبار العامل  $\cos (n,t)$  والذي يدعى في كثير من كتب الحيود بعامل الميل (obliquity factor) ، وتكون قيمة هذا العامل في المسألة الحالية مساوية  $1 + \cos (n,r)$  . حيث ان  $\cos (n,r) = 1$  في اتجاه مسار الضوء ، كما يكون  $\cos (n,r) = -1$  في عكس اتجاه المسار أي ان لعامل الميل قيمة تساوي 2 في الحالة الاولى ( باتجاه المسار ) وتساوي صفرا في الاتجاه المعاكس وهذا ما يفسر لنا سبب عدم رجوع موجات ثانوية بالاتجاه المعاكس لجهة الموجة ، وهذا ما أهملته قاعدة هايجنز الاصلية حيث لم تأخذ بنظر الاعتبار عامل الميل ، لذلك لم تكن قادرة على تفسير غياب الموجات في الجهة المعاكسة لجهة الموجة .

ان التفسير الفيزيائي لوجود (  $U_p$  ) في المعادلة هو ان الموجة المحادة تختلف في الطور عن الموجة الساقطة بزاوية قدرها  $90^\circ$  وهذه الحقيقة كانت خافية في قاعدة هايجنز ايضا .

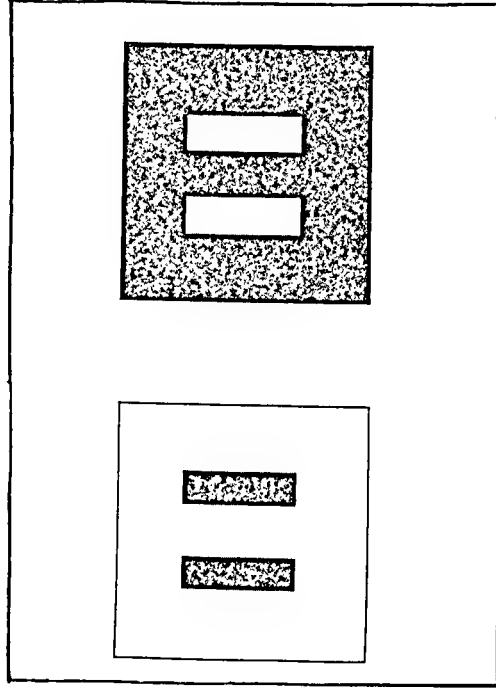
#### (4- 1) - الفتحات المكملة : قاعدة بابنيت : Complementary Apertures

##### Babino 's Principle

لتعتبر فتحة حيود ( diffraction Aperture )  $A$  ، التي تسبب اضطراباً معيناً في توزيع الضوء  $U_p$  وعند نقطة الملاحظة (P) ولنفرض ان هذه الفتحة قد قسمت الى قسمين  $A_1$  و  $A_2$  حيث  $A = A_1 + A_2$  وان الفتحتين الجديدتين مكملتان لبعضهما (Complementary) كما في الشكل (6-1)

ويمكننا من قانون فريزل - كيرشوف ان نكتب ايضا

$$U_p = U_{1p} + U_{2p} \quad (11-1)$$



شكل (1 - 6)

حيث ان  $U_{1p}$  هو الاضطراب المحدث من قبل  $A_1$  لوحدها في النقطة  $P$  و  $U_{2p}$  هو الاضطراب المحدث من قبل  $A_2$  في النقطة  $(P)$  ايضا تعتبر المعادلة (1 - 11) حالة من حالات قاعدة تعرف بقاعدة باينيت (Bapinets principle) ، حيث ان هذه القاعدة مهمة جدا ونافعة في حل بعض المسائل الخاصة ، وعلى سبيل المثال ، لو كانت  $u_p = 0$

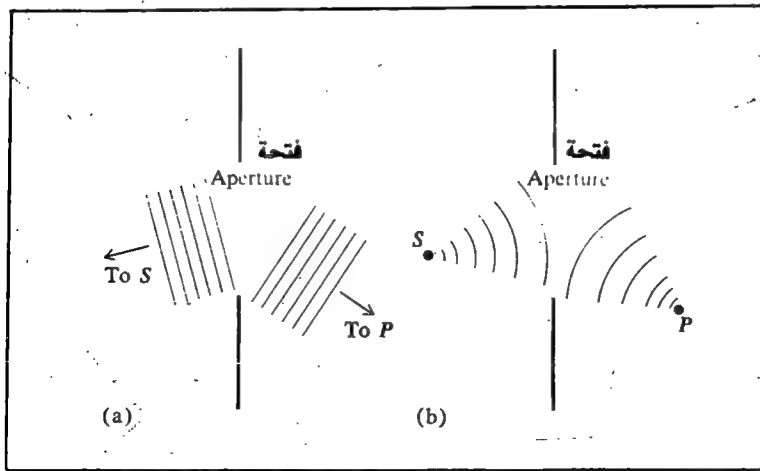
$$U_{1p} = - U_{2p} \quad \text{فيكون}$$

وهذا يعني ان الفتحين تؤديان الى نفس الاضطراب ولكن بفرق طور مقداره  $180^\circ$  وبما ان شدة الضوء في  $(P)$  هي مربع القيمة المطلقة للدالة  $U_{1p}$  و  $U_{2p}$  لذلك تكون شدتا هاتين الدالتين متساويتين عند النقطة

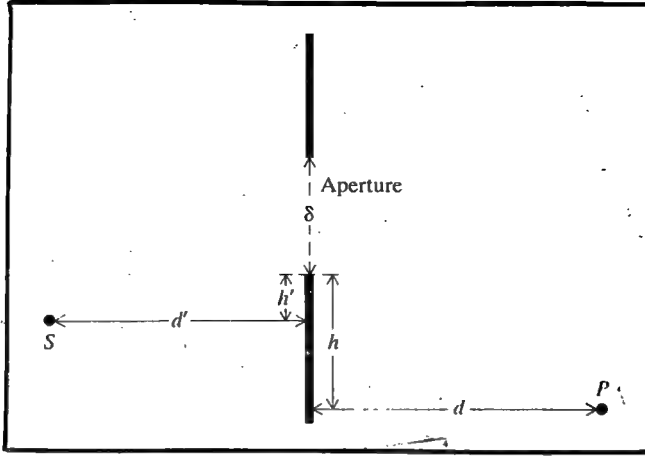
## 5-1 حيود فرانفوفر وفرنيل Fraunhoffer and Fresnel diffraction

عند دراسة الحيود بشيء من التفصيل يجب ان نميز بين حالتين رئيسيتين ، وهاتان الحالتان هما ، حيود فرانفوفر وحيود فرنيل . حيث تحدث ظاهرة حيود فرانفوفر عندما تكون الموجة الساقطة ( القادمة ) والموجة التي حادت مستويتين ، بعبارة اخرى يكون مصدر الاضاءة ونقطة الملاحظة على بعد لا نهائي من فتحة الحيود ، وهذا يعني فيزيائيا اننا نهمل الانحناء في الموجة الساقطة والتي حادت معا ، حيث يتوضح هذا النظام في الشكل ( 7-1 ) اما حيود فرنيل فتكون المسافة محددة بين مصدر الاضاءة ونقطة الملاحظة وجدير بالذكر انه لا يوجد فاصل حاد بين حدوث الحيود في الحالتين الانفتحتين ومع هذا فانه يمكن الحصول على معيار كمي يمكننا من التميز بين الاثنين الى درجة لا بأس بها. هذا المعيار يمكن استخراجه مما يأتي :

يوضح الشكل (8-1) الحالة العامة لمسألة الحيود تحليلياً ، حيث تبعد نقطة الملاحظة (p) مسافة (  $\bar{d}$  ) من مستوى فتحة الحيود ، ويبعد مصدر الاضاءة مسافة d عن هذا المستوى كما في الشكل ، حيث ان قطر فتحة الحيود هو (  $\bar{K}$  ) . يلاحظ من الشكل (8-1) ان التغير (  $\Delta$  ) في الكمية (  $\bar{r} + \bar{r}'$  ) بين نقطة على حافة الفتحة والنقطة المقابلة لها على الحافة ايضا هم :



شكل (7-1)



شكل 8-1

$$\Delta (\text{التغير}) = \sqrt{d'^2 + (h - \delta)^2} + \sqrt{d'^2 + (h + \delta)^2} - \sqrt{d'^2 + h'^2} - \sqrt{d^2 + h^2}$$

$$\Delta = \left( \frac{h'}{d'} + \frac{h}{d} \right) \delta + \frac{1}{2} \left( \frac{1}{d'^3} + \frac{1}{d^3} \right) \delta^2 + \dots$$

ويكون الحد الذي يحتوي على عامل الدرجة الثانية ( quadratic ) في المعادلة اعلاه هو الذي يعبر عن درجة انحناء جبهة الموجة ، فجبهة الموجة تكون مستوية عند فتحة الحيود ، إذا كان هذا الحد صغيرا جدا مقارنة بطول موجة الضوء ، بعبارة أخرى إذا كان :

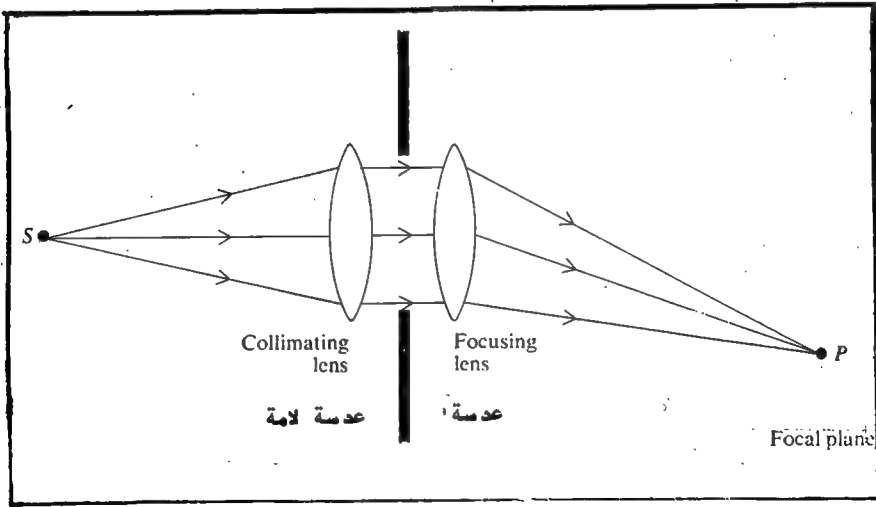
$$\frac{1}{2} \left( \frac{1}{d'^3} + \frac{1}{d^3} \right) \delta^2 \ll \lambda \quad (12-1)$$

يكون الحيود الحاصل حيود فرانهوفر ، وعند عدم تحقق هذا الشرط يكون انحناء جبهة الموجة عند فتحة الحيود كبيرا نسبيا وعندها يكون الحيود حيود فرنيل .  
سنناقش فيما يلي الحيود بنوعيه من اشكال مختلفة للفتحات وسنبداً بحيود فرانهوفر لبساطة حساباته الرياضية .

## 6-1 نمط حيود فرائهوفر Fraunhofer Diffraction Pattern

يمكن الحصول على نمط فرائهوفر من الترتيب المبين في الشكل (9-1) حيث تضاء فتحة الحيود بواسطة مصدر اضاءة أحادي الموجة ( أي ان حزمة الضوء عند الفتحة متشاكله ( coherent ) ، وهناك عدستان بين مصدر الضوء والفتحة واخرى بين الفتحة ونقطة الملاحظة ، لذلك تكون جبهتا الموجتين الساقطتين والحادة مستويتين فيتوقع اذا حيودا من نوع فرائهوفر وتطبيق معادلة فرائهوفر - كريشوف ( المعادلة 12-1 ) لحساب نمط الحيود من الفتحات او الشقوق ذات الاشكال المختلفة ، وبفرض ان الانتشار الزاوي للحزم الضوئية المحادة قليل نسبيا ، حيث يكون عامل الميل ثابتا عند الفتحة ، فيمكننا حينئذ كتابة المعادلة بالشكل التالي :-

$$U_p = C \iint_A e^{i k r} dA \quad (13-1)$$



شكل (9-1)

حيث عبرنا عن جميع الثوابت بثابت واحد هو  $C$  وتعني المعادلة اعلاه انه يمكن الحصول على توزيع الحزم الضوئية التي حادت من عمليات تكامل عامل الطور  $e^{ikr}$  عند فتحة الحيود .

### 1.6.1 الشق المنفرد : The Single Slit

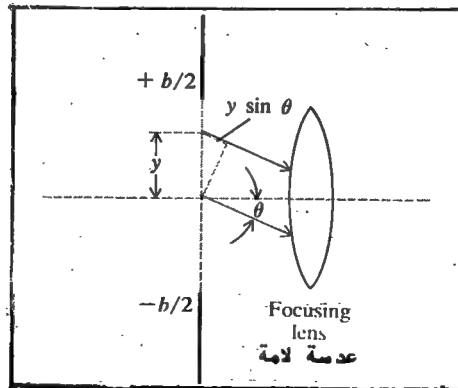
نعالج هنا حالة الحيود من الشق المنفرد الضيق على اعتبار انها ذات بعد واحد ، وليكن الشق ذات طول  $(L)$  وعرض  $(b)$  ، فتكون عامل تغير المساحات  $dA = Ldy$  كما مبين في الشكل ( 10-1 ) ويمكن التعبير عن  $(r)$  بالشكل التالي :

$$r = r_0 + y \sin \theta$$

حيث  $(r_0)$  هو قيمة  $r$  عندما يكون  $r = 0$  وبأستعمال المعادلة (10-1) في هذه الحالة نحصل على ما يلي

$$U = C e^{ikr_0} \int_{-\frac{b}{2}}^{+\frac{b}{2}} e^{ik y \sin \theta} L dy$$

$$U = 2C e^{ikr_0} L \frac{\sin(\frac{1}{2} K b \sin \theta)}{K \sin \theta} = C' \frac{\sin \beta}{\beta} \quad (141-1)$$



شكل (10- 1)



حيث

$$\beta = \frac{1}{2} k b \sin \theta$$

$$c' = \frac{c b l e^{i k r_0}}{2} \quad \text{وان}$$

وبذلك تكون الكمية  $c' \left( \frac{\sin \beta}{\beta} \right)$  هي السعة (Amplitude) الكلية للحزمة الضوئية التي حادت باتجاه ما مثل  $\beta$  ، وتجمع هذه الحزم بواسطة العدسة الثانية كما هو واضح في الشكل ، ويتعين توزيع السطوع في المستوى البؤري لهذه العدسة ، في المعادلة التالية :

$$I = |U_0|^2 = I_0 \left( \frac{\sin \beta}{\beta} \right)^2 \quad (15-1)$$

حيث :  $I_0 = (c I b y)^2$

وهذه الكمية تمثل شدة الضوء في حالة  $(\theta = 0)$

رسمت المعادلة 15-1 في الشكل (11-1) ، وتحصل القيمة العظمى (maximum) لهذه الدالة عند  $(\theta = 0)$  وتكون صفرا عندما تكون

$$\beta = \pm \pi, \pm 2\pi, \dots$$

وللدالة قيم عظمى ثانوية ايضا سرعان ما تضمحل شدتها ، ويكون موقعها بالطبع بين قيمة الصفر المتتالية للدالة كما هو موضح في الشكل .

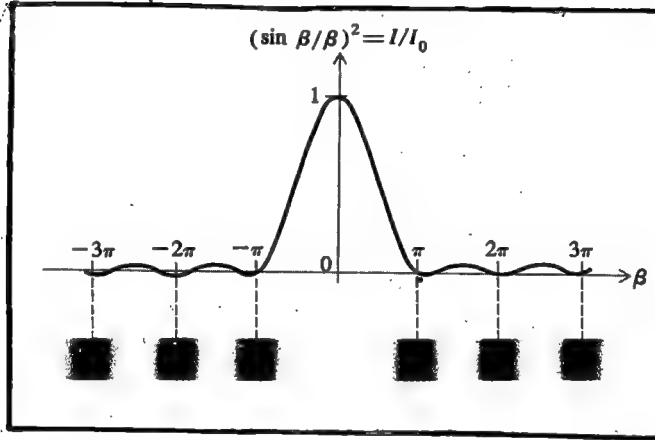
واذا رغبتا في تسجيل نمط الحيود المبين في الشكل (11-1) على لوح فوتوغرافي فستظهر منطقة مضاءة (Bright) في مركز النمط محاطة من الجهتين بمناطق معتمة ومضاءة على التعاقب ، وتختلف شدة توزيع الاضاءة في المناطق المضاءة كما هو مبين في الجدول (1-1) الذي يبين القيم النسبية

تحدث المنطقة المظلمة الاولى (او القيمة الدنيا الاولى للدالة) عندما تكون وبعبارة اخرى ،

$$\sin \theta = \frac{2\pi}{kb} = \frac{\lambda}{b}$$

(16-1)

نستنتج اذا من المعادلة (16-1) حقيقة مهمة وعملية وهي ان العرض الزاوي لنمط الحيود يتناسب عكسيا مع عرض الشق (slit) ، ويتناسب سعة الدالة لمنطقة الحيود المركزية (الوسطى) مع مساحة الشق ، حيث يضيق نمط الحيود وتزداد شدته كلما زاد عرض الشق .



شكل (11- 1)

## The Rectangular Aperture : فتحة الحيود المستطيلة

2.6.1

سنعالج مسألة الحيود من فتحة مستطيلة بنفس الطريقة التي أتبعنا في حالة الشق المنفرد ، عدا أننا سنجري عملية التكامل بين عددين بدلاً من بعد واحد ، وليكن البعدان  $x$  و  $y$  كما هو الحال في الشكل ( 13-1 )

إن شدة الضوء المحادة من هذه الفتحة هو عبارة عن حاصل ضرب دالتي توزيع شدة الاضاءة من حيود شقين منفردين ( two-single slits )

$$I = I_0 \left( \frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2 \left( \frac{\sin \beta}{\beta} \right)^2 \quad (17-1)$$

وتكون النتيجة هي :  $\alpha = \frac{1}{2} k a \sin \theta$  حيث

$$\beta = \frac{1}{2} k b \sin \theta$$

وإن  $a$  و  $b$  هما طول وعرض الفتحة على التوالي .

$\theta$  و  $\phi$  هما اتجاهها الحزم الضوئية التي حادت .

عند رسم الدالة ( 17-1 ) نحصل على توزيع الشدة كما في الشكل ( 14-1 )

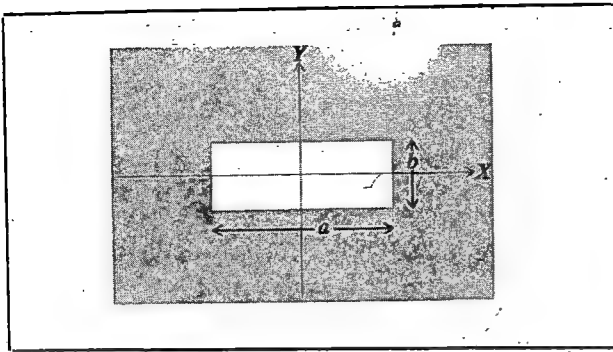
حيث تقع قيم الصفر في هذه الدالة عندما تكون :-

$$\alpha = \pm \pi , \pm 2 \pi , \dots$$

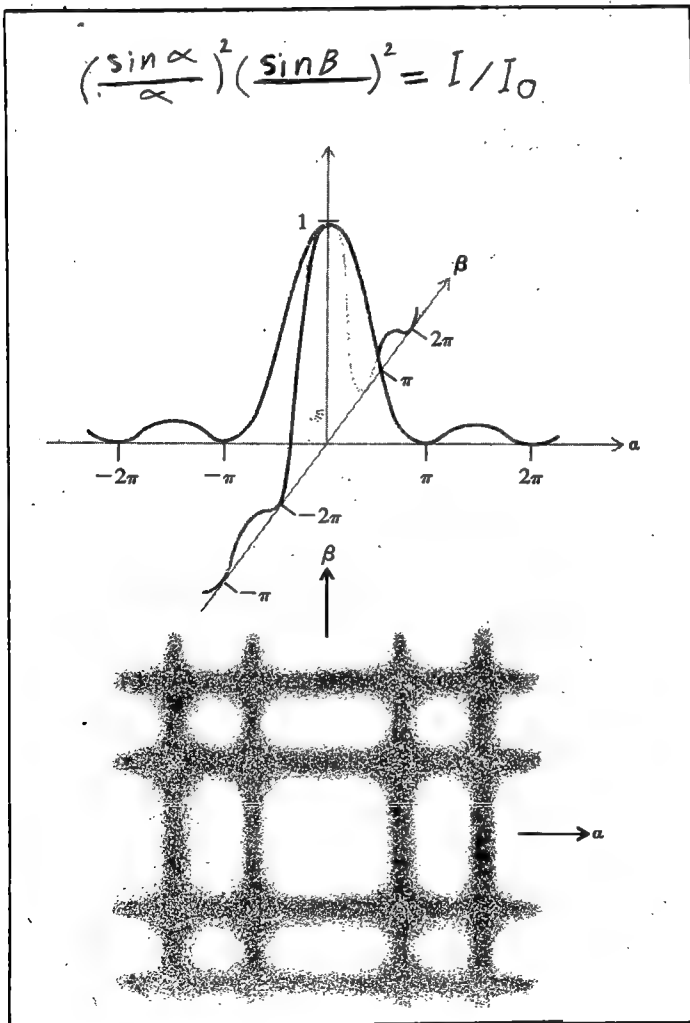
$$\beta = \pm \pi , \pm 2 \pi$$

تناسب مساحة الحيود عكسياً مع ابعاد الفتحة كما هي الحالة في الحيود من شق

منفرد .



شکل 13-1



شکل 14-1

### Circular Aperture

### 3-6-1 الفتحة الدائرية

لكي نحسب نط الحيود من فتحة دائرية تختار متغيراً واحداً مثل (y) لاجراء عملية التكامل كما هي الحالة في الحيود من شق منفرد. ولنفرض ان نصف قطر الدائرة (R) . عندئذ يكون عنصر المساحة شريطاً عرضه dy وطوله  $2\sqrt{R^2 - y^2}$  كما هو في الشكل (1-5). يمكن التعبير عن توزيع سعة نط الحيود كما يلي :

$$u = C e^{ikr_0} \int_{-R}^R e^{iky \sin \theta} 2\sqrt{R^2 - y^2} dy$$

ونعوض عن  $u = R/y$

و  $e = kR \sin \theta$

فنحصل على

$$\int_{-1}^{+1} e^{ie\sqrt{1-\mu^2}} d\mu$$

تعتبر هذه المعادلة من المعادلات القياسية وقيمتها  $\frac{\pi J_1(e)}{e}$  حيث  $J_1$  هي دالة بزل (Bessel function) من الدرجة الاولى

وتقترب النسبة  $\frac{J_1(e)}{e}$  عندما  $e \rightarrow 0$  الى  $\frac{1}{2}$

وبذلك تكون شدة دالة الضوء في نط الحيود هي :

$$I = I_0 \left[ \frac{2J_1(e)}{e} \right]^2$$

18- 1

حيث  $I_0 = (C \pi R^2)^2$  ، وهي قيمة الشدة عند  $\theta = 0$  وقد رسم توزيع شدة الحيود المثلثة في الدالة ( 1 - 18 ) في الشكل ( 1 - 15 ) ويكون نمط الحيود دائري التناظر ويحتوي على مناطق دائرية متمركزة مضاءة تتضاءل شدتها بسرعة كبيرة ويدعى القرص الوسطي المضاء ، بقرص آيري ( Airy disk ) ، حيث ان هذا القرص مبين في الشكل ( 1 - 15 ) ، ويمتد هذا القرص حتى الحلقة المظلمة الاولى ( first dark ring ) ، التي يتحدد حجمها بالقيمة الصفرية الاولى لدالة بزل ، اي ان :-

$$\theta = 3.832$$

وبذلك يكون نصف القطر الزاوي للحلقة المظلمة الاول هو :

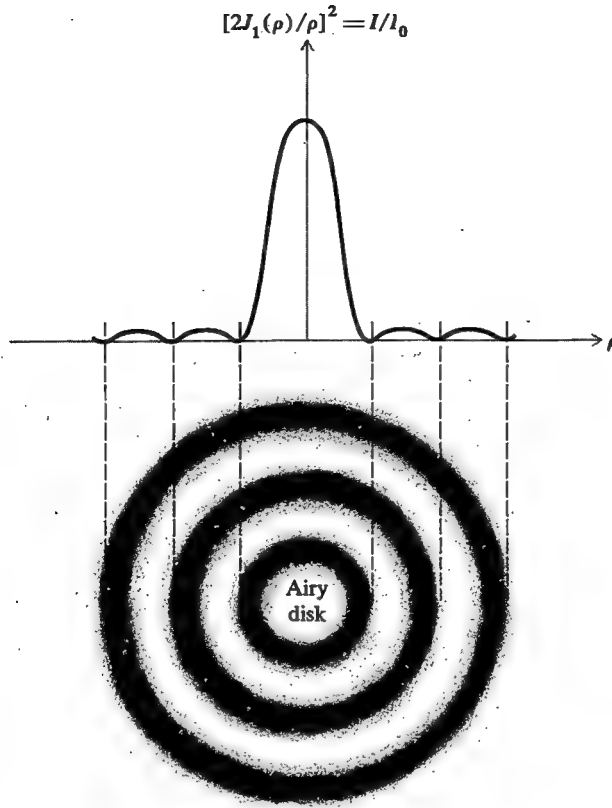
$$\sin \theta \approx \theta = \frac{3.832}{KR} = \frac{1.22\lambda}{D}$$

حيث  $D = 2R$  والتي تمثل قطر الفتحة الدائرية .

ان الحجم الزاوي لقرص آيري اكبر قليلا من القمة المناظرة  $\frac{\lambda}{b}$  للمنطقة المضادة المركزية في الفتحة المستطيلة .

ندرج في الجدول ( 1 ) قيم الشدة النسبية للمناطق التي تكون فيها الدوال ذات قيم عظمى في حالي الفتحة المستطيلة والدائرية .

يبين الجدول ( 1 ) القيمة النسبية العظمى للحيود من الفتحات المستطيلة والدائرية



شكل (15-1)

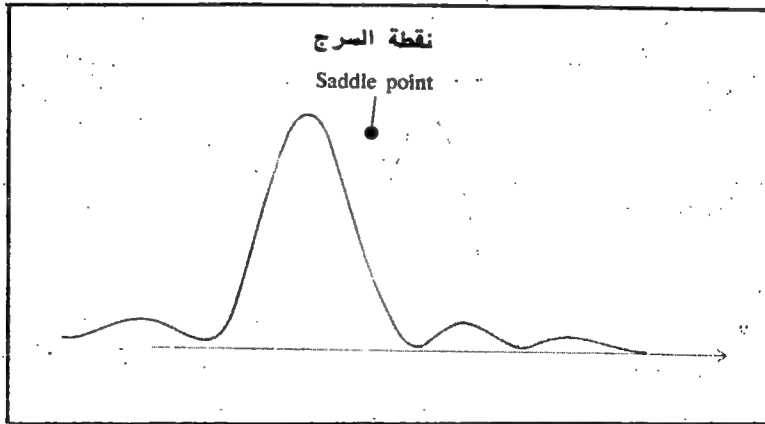
جدول (1-1)

| الفتحة المستطيلة | الفتحة الدائرية | درجة منطقة الحيود |
|------------------|-----------------|-------------------|
| 1                | 1               | العظمى الوسطية    |
| 0.0496           | 0.0174          | العظمى الاولى     |
| 0.0168           | 0.0042          | العظمى الثانية    |
| 0.0088           | 0.0016          | العظمى الثالثة    |

## 7- 1 التحليل البصري : Optical Resolution

تعتبر الصورة المتكونة في المستوى البؤري لمصدر بعيد لعدسة تلسكوب او كامرة هي صورة نمط حيود فرائهوفر ، وتعتبر العدسة هي فتحة الحيود ، لذلك تكون الصورة للجسم المركب ( متعدد الاجزاء ) هي في الحقيقة جمع مترابك ( superposition ) لاقراص ايري ( Airy disk ) ، لذلك يكون التحليل ( التمييز بين التفاصيل معتمدا على حجم اقراص ايري كل على انفراد .

فاذا كان قطر العدسة (  $D$  ) فان نصف القطر الزاوي لقرص ايري هو  $\frac{1.22}{D}$  تقريبا ، وهذه الكمية هي في الحقيقة اصغر مسافة بين القيمتين العظمتين في نمط الحيود من مصدرين نقطيين ، يمكن التمييز بينهما وكأنهما مصدران منفصلان ( Just resolved ) وتمثل هذه الحالة انطباق القيمة العظمى الوسطية لحيود احد المصدرين على القيمة الدنيا الاولى لحيود المصدر الثاني ، كما هو مبين في الشكل ( 16-1 ) وتعتبر المسافة بين المصدرين في هذه الحالة هي ادنى مسافة يظهر بها المصدران منفصلين ويعرف هذا المعيار بمعيار ريلي .



شكل 16-1



ان معيار ريلي ( Rayleigh ) لا يعطى قيمة مطلقة للمسافة بين القيمتين كشرط للتحليل ولكنه يستعمل في اغلب الحالات العملية نظرا لبساطته ونجاحه في تفسير النتائج العملية .

وتكون المسافة الدنيا في حالة الحيود من فتحة مستطيلة حسب معيار ريلي هي  $\frac{\lambda}{b}$  وكما هو معروف ان  $b$  هو عرض الفتحة و  $\lambda$  هي الطول الموجي للضوء ، وتكون قيمة الشدة  $I$  لنقطة السرج في الحالة هذه هي

$$\frac{I}{I_0} = 0.81$$

أي 81 بالمائة من قيمة الشدة العظمى ، ونترك اثبات ذلك كتمرين للقارىء

### 8-1 الحيود من فتحة ذات شقين The double slit

لنعتبر مسألة الحيود من فتحة ذات شقين ، حيث ان عرض الشق الواحد هو  $b$  والمسافة بينهما هي  $h$  كما في الشكل ( 17-1 ) ومن الممكن اعتبار هذه المسألة كمسألة ذات بعد واحد كما الحالة في فتحة الحيود ذات الشق المنفرد وبذلك تكون معادلة التكامل كما يلي :

$$\begin{aligned} \int_A e^{iKysin\theta} dy &= \int_0^b e^{iKysin\theta} dy + \int_h^{h+b} e^{iKysin\theta} dy \\ &= \frac{1}{iKsin\theta} \left[ e^{iKbsin\theta} - 1 + e^{iK(h+b)sin\theta} - e^{iKh sin\theta} \right] \\ &= \left( \frac{e^{iKbsin\theta} - 1}{iKsin\theta} \right) (1 + e^{iKh sin\theta}) \\ &= 2b e^{i\beta} e^{i\gamma} \frac{sin\beta}{\beta} \cos \gamma \quad (19 - 1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta &= \frac{1}{2} kb \sin\theta \\ \gamma &= \frac{1}{2} kh \sin\theta \end{aligned}$$

وبذلك يمكن كتابة دالة توزيع شدة الضوء في نمط الحيود من فتحة ذات شقين كما يلي :

$$I = I_0 \left( \frac{\sin \beta}{\beta} \right)^2 \cos^2 \delta \quad (20-1)$$

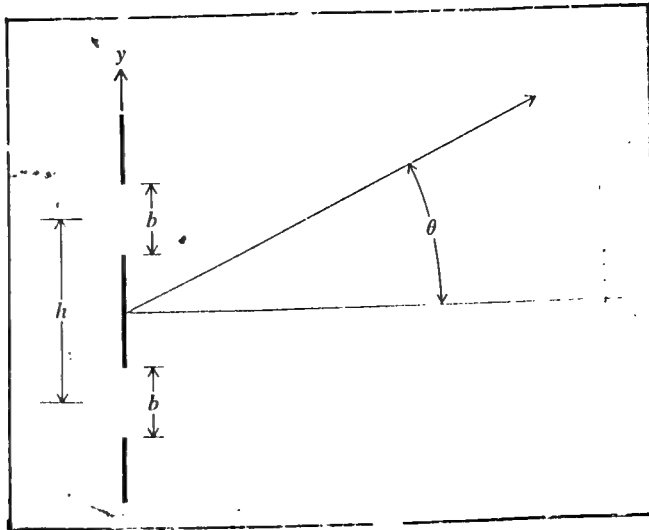
لقد سبق وأن حصلنا على العامل  $\left( \frac{\sin \beta}{\beta} \right)^2$  في حالة الحيود من الشق المنفرد ، حيث يكون هذا العامل هنا غلافًا لاهتزاز الحيود الناتجة من العامل  $\cos^2 \delta$  . والشكل (18-1) يبين رسم الدالة (20-1) حيث تنطبق المواقع الزاوية للاهتزاز المضاء (Bright fringes) مع قيم  $(\delta)$  التالية .

$$\delta = 0, \pm \pi, \pm 2\pi, \dots$$

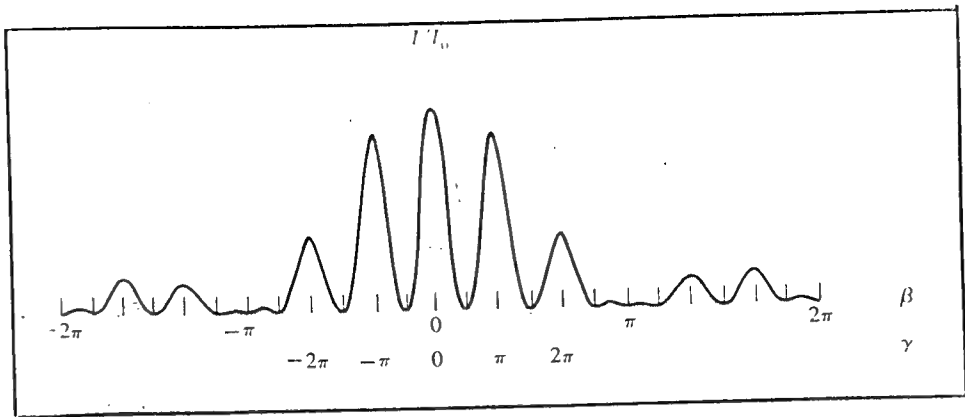
وتكون المسافات الزاوية التقريبية الفاصلة بين الاهتزاز هي  $\Delta \delta = \pi$  ويمكن التعبير عن هذه المسافات بدلالة  $(\theta)$  بالشكل التالي

$$\Delta \theta = 2 \frac{2\pi}{\lambda h} = \frac{\lambda}{h}$$

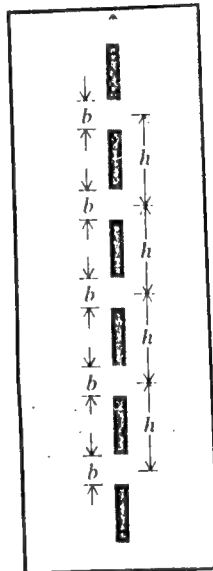
وهذا يعني ان المسافات الفاصلة بين اهتزاز الحيود تتناسب مع طول الموجة وعكسيا مع المسافة بين الشقين .



شكل (17-1)



شكل 18-1



شكل 19-1

9-1 الشقوق المتعددة ( محرز الحيود ) :

### Multiple slits (Diffraction gratings)

لتكن فتحة الحيود في هذه الحالة هي عبارة عن محرز ( grating ) اي انها تتكون من عدد  $N$  من الشقوق المتشابهة والمتوازية ، وليكن عرض الشق (  $b$  ) ، والمسافة بين شقين متتاليين هي (  $h$  ) ، كما هو موضح في الشكل (19-1) . سنكتب تكامل المعادلة الخاصة بمحزر الحيود بطريقة تشبه تلك التي اتبعت في حالة فتحة الحيود ذات الشقين .

$$A \int e^{iK y \sin \theta} dy = \int_a^b + \int_h^{h+b} + \int_{2h}^{2h+b} + \dots$$

$$+ \int_{(N-1)h}^{(N-1)h+b} e^{iK y \sin \theta} dy$$

$$= \frac{e^{iK b \sin \theta} - 1}{iK \sin \theta} \left[ 1 + e^{iK h \sin \theta} + \dots + e^{iK(N-1)h \sin \theta} \right]$$

$$= \frac{e^{iK b \sin \theta} - 1}{iK b \sin \theta} \times \frac{1 - e^{iK N \sin \theta}}{1 - e^{iK h \sin \theta}}$$

$$= b e^{i\beta} e^{i(N-1)\delta} \left( \frac{\sin \beta}{\beta} \right) \left( \frac{\sin N\delta}{\sin \delta} \right) \dots \dots \dots (21-1)$$

حيث ان

$$\beta = \frac{1}{2} K b \sin \theta \quad , \quad \delta = \frac{1}{2} K h \sin \theta$$

وبذلك يكون توزيع شدة الضوء في نمط الحيود كما يلي :-

$$I = I_0 \left( \frac{\sin \beta}{\beta} \right)^2 \left( \frac{\sin N\beta}{N \sin \beta} \right)^2 \quad (22-1)$$

حيث ادخل العامل ( N ) لغرض تعبير (Normalizing) المعادلة ، ولكي يكون  $I = I_0$  عند  $\theta = 0$ . ويظهر عامل الشق المنفرد  $\left( \frac{\sin \beta}{\beta} \right)^2$  هنا مرة اخرى ، ويكون الغلاف لاهداب نمط الحيود .

تحدث القيمة العظمى الرئيسة للدالة داخل الغلاف عندما  $\delta = n\pi$

حيث  $n = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$

ويمكن وضع هذا الشرط بشكل اوضح كما يلي :

$$h \sin \theta = n\lambda$$

وتدعى هذه المعادلة بمعادلة محزز الحيود ، والعدد الكامل  $n$  يمثل رتبة الحيود

تحدث القيم العظمى الثانوية للدالة في المواقع الزاوية التالية :

$$\delta = \frac{3\pi}{2N} , \frac{5\pi}{N}$$

والقيم الصفرية للدالة تكون في المواقع الزاوية

$$\delta = \frac{\pi}{N} , \frac{2\pi}{N} , \frac{3\pi}{N}$$

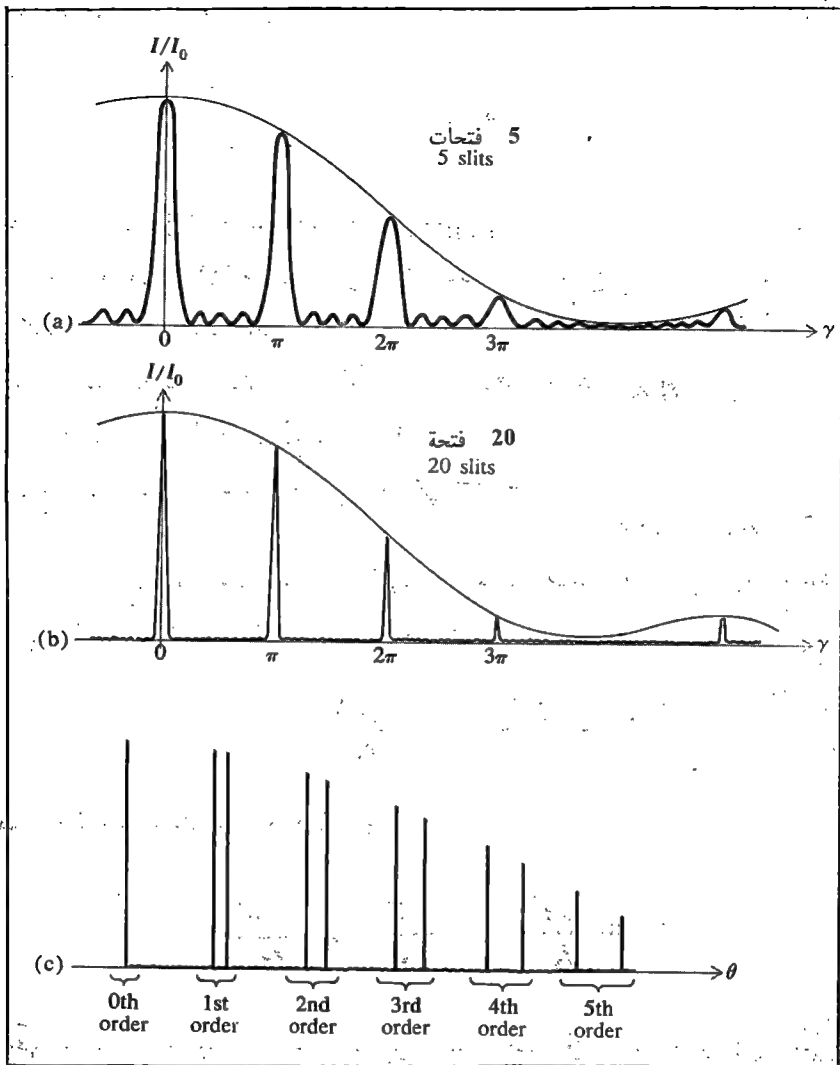
وقد رسمت دالة توزيع شدة الضوء في نمط الحيود في حالة المحزز في الشكل

( 20-1 ) فإذا كانت الشقوق ضيقة جدا ، فعندها يكون

$$\frac{\sin \beta}{\beta} \simeq 1$$

وهذا يعني ان بعض القيم العظمى الرئيسة الأولية تكون ذات شدة متساوية الى

حد ما وقيمتها تقترب من  $I_0$



شكل 20-1

### 1-9-1 القوة التحليلية للمحزز : Resolving power of grating

تدعى المسافة بين القيمة العظمى الرئيسة في الدالة والقيمة الدنيا التي تليها بالعرض الزاوي للقيمة العظمى الرئيسة :

(Angular width off the principle fringe)

ويمكن إيجاد العرض الزاوي هذا كليا ، وذلك بجعل التغير في  $N$  يساوي  $\pi$

أي ان :-

$$\Delta \theta = \frac{\pi}{N} = \frac{1}{2} \lambda h \cos \theta \Delta \theta$$

وهذه الكمية تقابل

$$\Delta \theta = \frac{\lambda}{N h \cos \theta} \quad (23-1)$$

وهذا يعني اذا كان عدد الشقوق  $N$  كبيرا جدا ، فتكون  $\Delta \theta$  صغيرة جدا ، وبذلك يتكون نمط الحيود من سلسلة اهداب ( fringes ) متتالية ومحددة وحادة (sharp)

ذات رتب متتالية ، ..  $n = 0 , \pm 1 , \pm 2 , \pm 3 , \pm 4 , \dots$

كما في الشكل ( 20 ، c ، b ) .

ومن جهة اخرى تكون علاقة او اعتماد  $\theta$  على طول الموجة  $\lambda$  ولأي مرتبة من

مراتب الحيود يتعين من تفاضل المعادلة

$$n \lambda = d \sin \theta$$

حيث نحصل على ما يلي :

$$\Delta \theta = \frac{n \Delta \lambda}{h \cos \theta} \quad (24-1)$$

حيث تعطي المسافة الزاوية بين خطين في الطيف يختلفان بالطول الموجي بمقدار  $\Delta\lambda$ .  
ومن المعادلتين (23-1) و (24-1) يمكن الحصول على القوة التحليلية  
( grating spectrope ) حسب معيار ريلي بالشكل التالي :

$$R.P = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = nN \quad (25-1)$$

تصنع محزرات الحيود بعدة اشكال ، منها نوع السطوح الشفافة ( نفاذ )  
( trnsmission type ) ، نوع السطوح العاكسة  
( Reflection type ) ، ويختلف عدد الشقوق في المحرز ، ويمكن الحصول على محرز  
ذات 600 خط / ملم وبحجم 10 سم ، وهذا يعني ان المحرز يحوي على 60000  
خط او شق .

ما تقدم كان بعض التطبيقات البسيطة لحيود فرانهورف ، وسنشرح شيئا عن حيود  
فرنيل بشكل مختصر .

### 1 - 10 نمط حيود فرنيل : Fresnel Diffraction Pattern

لقد سبق وان قلنا في بداية هذا الفصل او في الحقيقة وضعنا معيارا يحدد نوع  
الحيود ، وحالة حيود فرنيل هي الحالة التي يكون فيها مصدر الاضاءة او شاشة الملاحظة  
او كلاهما قريبين من فتحة الحيود ، وهذا يؤدي بالطبع الى انحناء في جبهة الموجة الساقطة  
على الفتحة او الحائذة منها .

ان الرياضيات المعنية في معالجة حيود فرنيل اكثر صعوبة من السابقة حيث اننا  
لا نتعامل مع موجات مستوية في هذه الحالة ولكن احداث حيود فرنيل عمليا وملاحظته

اسهل بكثير من حالة حيود فرانهورف الذي تحتاج الى مصدر اضاءة ، فتحة حيود  
وشاشة  
ملاحظة :

وسنحاول شرح مثال مهم جدا لحيود فرنيل بحيث يمكن معالجته بالرياضيات  
الاعتيادية .

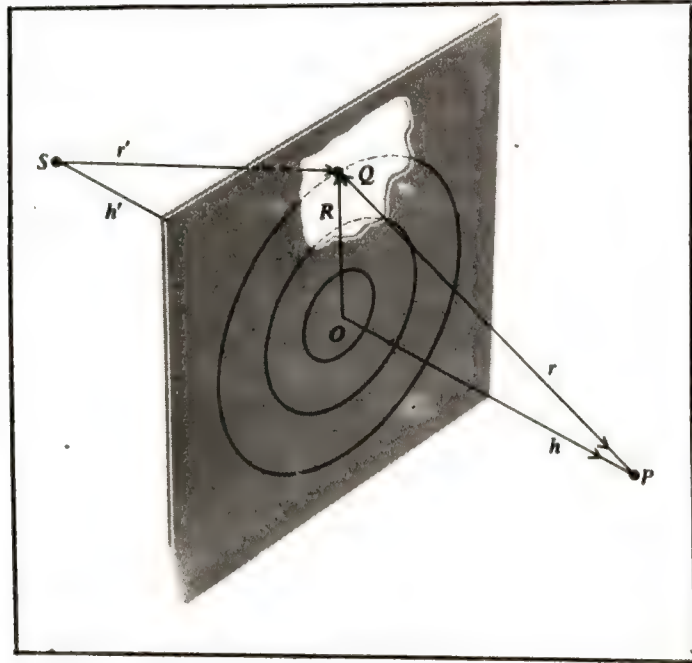


### 1.10.1 Fresnel zones : مناطق فرنيل

لنعتبر فتحة حيود مستوية (Plane aperture) مضاءة بمصدر ضوء نقطي S (Point Source) كما في الشكل (21-1) حيث يكون الخط المستقيم الذي يربط بين المصدر (S) وبين نقطة الملاحظة (P) عمودياً على مستوى فتحة الحيود. ولنجعل (O) نقطة تقاطع الفتحة مع الخط (SP) ولتكون R المباشرة من (O) الى اي نقطة مثل (Q) في مستوى الفتحة ، يمكن التعبير عن المسافة  $PQS = r + r'$  بدلالة R على الشكل التالي ؛

$$\begin{aligned} r + r' &= (h^2 + R^2)^{\frac{1}{2}} + (h'^2 + R^2)^{\frac{1}{2}} \\ &= h + h' + \frac{1}{2} R^2 \left( \frac{1}{h} + \frac{1}{h'} \right) \text{-----} \quad (26-1) \end{aligned}$$

حيث h و h' هما المسافتان op و os على التوالي. ولنفرض الآن ان فتحة الحيود قد قسمت الى مناطق محددة بالدوائر المتمركزة



شكل (1- 21)

بحيث تكون  $R$  ثابتة بينما المسافة  $r + r'$  تختلف من حدود منطقة الى حدود المنطقة التي تليها بكمية مقدارها نصف طول الموجة  $(\frac{1}{2}\lambda)$  .  
 وبذلك تكون لدينا مناطق محددة تدعى بمناطق فرنيل ( )  
 وباستعمال المعادلة (26-1) تكون انصاف اقطار المناطق المتتالية هي :

$$R_1 = \sqrt{\lambda L} , \quad R_2 = \sqrt{2\lambda L}$$

$$R_n = \sqrt{n\lambda L}$$

حيث  $\lambda$  هي الطول الموجي و  $L$  هي

$$L = \left( \frac{1}{h} + \frac{1}{h'} \right)^{-1}$$

فاذا فرضنا ان  $R_n$  هي نصف القطر الداخلي و  $(R_{n+1})$  هي نصف القطر الخارجي للمنطقة  $n$  من مناطق فرنيل ، لكانت المساحة لهذه المنطقة

$$\pi R_{n+1}^2 - \pi R_n^2 = \pi R_1^2$$

ويظهر من هذا ان النتيجة لا تعتمد على  $(n)$  ، اي درجة المناطق ، وبعبارة اخرى فان مساحات مناطق فرنيل تكون جميعها متساوية . او من الممكن حساب مساهمة المناطق المختلفة في توزيع الضوء في نمط الحيود في النقطة  $(P)$  في مستوى الفتحة ، حيث ستسهم الدوال بها .

$$u_1, u_2, u_3, \dots$$

وبما ان فرق الطور بين منطقة والتي تليها هو  $180^\circ$  فستكون المساهمات لسعة الضوء الحادثة في النقطة  $P$   $(u_p)$  بالشكل التالي :

$$U_p = |U_1| + |U_2| + |U_3| - \quad (27-1)$$

وإذا فرضنا ان الفتحة هي دائرية متمركزة في ( o ) وأن هذه الفتحة تحوي على عدد  $n$  من المناطق الكاملة ، وبما أن المساحات لهذه المناطق متساوية كما ذكرنا اعلاه ، فستكون قيم  $|U_i|$  متساوية ايضاً . وهذا يعني ان المجموع في (27-1) سيكون صفراً عندما يكون الرقم  $n$  زوجياً ومساوياً لاحد قيم  $|U_i|$  مثل  $|U_1|$  عندما يكون (n) فردياً .

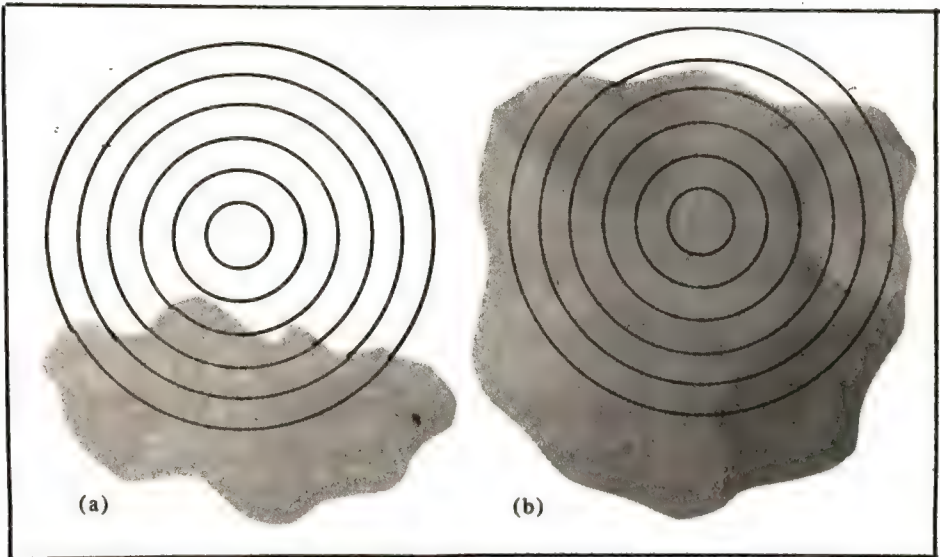
ونتيجة لتأثير عامل الميل في معادلة فرنيل كيرشوف اضافة الى عامل المسافة القطرية نقل قيمة  $|U_n|$  تدريجياً كلما كبر العدد (n) ، وكنتيجه لذلك عندما  $n \leftarrow \infty$  فتكون مجموع المساهمات من فتحة كبيرة المساحة في نقطة ( P ) أي الحالة التي لا توجد بها فتحة هي  $\frac{1}{2}$  المساهمة من النقطة الاولى (n = 1) لوحدها . ولاثبات ذلك ولو بشكل وصفي نعيد ترتيب المعادلة (27-1) على الشكل

$$|U_p| = \frac{1}{2} |U_1| + \left( \frac{1}{2} |U_1| - |U_2| + \frac{1}{2} |U_3| \right) + \left( \frac{1}{2} |U_3| - |U_4| + \frac{1}{2} |U_5| \right) \quad (28-1)$$

وبعد هذا الترتيب نقول اذا كان النقصان في (  $U_p$  ) مع زيادة ( n ) بطيئاً جداً فستكون قيمة اي  $|U_n|$  تساوي معدل قيمتي  $|U_{n-1}|$  المجاورتين مثل  $U_{n-1}$  وبذلك ستختزل الكميات المحصورة بين قوسين في المعادلة (28-1) ، حيث تكون القيمة هي  $\frac{1}{2} U_1$  في المنطقة P عندما لا يكون هناك فتحة على الاطلاق . ولو فرضنا الآن انه لدينا جسماً دائرياً حاجباً للضوء ( Obstacle ) بدلا من الفتحة ( Aperture ) فستعين مناطق فرنيل في هذه الحالة ابتداءاً من حافة الجسم المعوق ( edge of obstacle ) وتكون قيمة  $|U_p|$  هي  $\frac{1}{2} U_1$  كما هي الحالة في المثال السابق ، ونتيجة لذلك سيكون مركز الظل للجسم العاتم نقطة مضاءة ذات شدة تساوي حالة عدم وجود الجسم العاتم على الاطلاق .

في حالة كون الجسم العاتم او الفتحة ذات تركيب غير منتظم ( **inregular** ) فستظهر مناطق فرنيل للناظر من نقطة ( **p** ) كما في الشكل ( 22-1 ) . وكما هو واضح في الشكل ( **a** ) تكون المناطق الخارجية معزولة جزئيا ، وهذا يعني ان الحدود ذات العوامل الكبيرة في المعادلة (27-1) تتضاءل بسرعة عند عدم وجود عائق . بينما الحدود الاولى لا تتأثر وبذلك يكون التغير في قيمة **Up** قليلا جدا وفي الجزء ( **b** ) في الشكل ( 22-1 ) تكون المناطق الداخلية او الاعلى معيقة ، بينما تبقى المناطق الخارجية معيقة جزئيا ، وهذا يعني ان الحدود في المعادلة (28-1) تتضاءل في نهايتي المعادلة وتكون النتيجة الاختزال الكامل للحدود تقريبا ، ويمكن ان نستنتج مما تقدم ما يلي :-

... اذا كانت النقطة ( **p** ) في منطقة مضاءة فسوف لا يؤثر وجود الجسم العاتم بينما اذا كانت **p** في منطقة الظل فسيكون التوزيع البصري قليلا جدا وهذا ينطبق مع قوانين البصريات الهندسية ، حيث ستظهر اهداب الحيود حول الظل فقط في حالة عدم انتظام حافات الجسم التي تكون اصغر بكثير من نصف قطر منطقة فرنيل الاولى .



شكل . (22-1)

## 11-1 الصفيحة ذات المناطق Zone Plate

لقد تكلمنا في البند السابق عن مناطق فرنيل وكيفية مساهمة هذه المناطق في توزيع شدة اوسعة الضوء في نقطة الملاحظة  $p$  ، كما بينا تأثير عدد هذه المناطق سواء العدد الزوجي او الفردي .

وهنا نود ان نستعمل هذه الحقيقة لامور عملية . ونقصد بذلك عندما نعمل فتحة حيود بالشكل او الترتيب الذي يسمح بامرار مناطق متناوبة في المرتبة من مناطق فرنيل ( وهذا ممكن ) مثل امرار المناطق ذات الرتب الفردية وحجب المناطق ذات الرتب الزوجية ( ونقصد هنا بالرتبة هو العدد  $n$  .

واذا ما تحقق ذلك فيكون مجموع المساهمات من المناطق ذات الرتب الفردية هي :

$$|U_p| = |U_1| + |U_3| + |U_5| \quad (29-1)$$

فالصفيحة التي تحقق هذه الشروط تدعى بصفيحة ( Zone Plate )  
ان هذه الصفيحة تسلك سلوك العدسة تقريبا ، حيث سعة موجة الضوء في نقطة الملاحظة  $|U_p|$  اوشدة الضوء في النقطة نفسها اكبر بكثير من حالة عدم وجود الصفيحة المشار اليها ، حيث قلنا ان هذه الصفيحة تسلك مسلك العدسة ، وهذا صحيح ، وازضافة على ذلك فان البعد البؤري المكافئ لهذه الصفيحة هو :

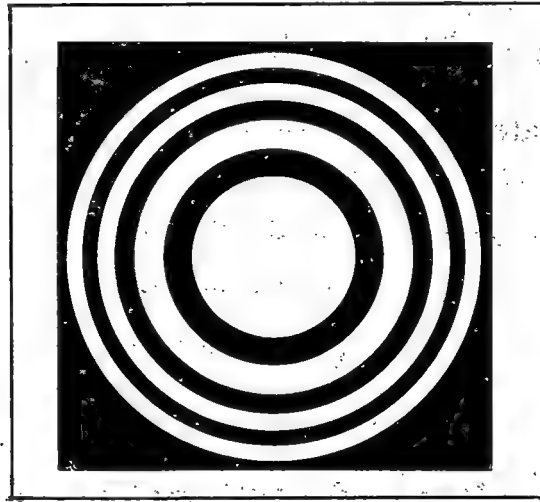
$$L = \frac{R_1^2}{\lambda} \quad (30-1)$$

حيث  $R_1$  هو نصف قطر منطقة فرنيل الاولى و  $\lambda$  هي الطول الموجي و  $L$  معرفة في المعادلة  
(30-1)

ويمكن عمل صفيحة المنطقة بعدة طرق . ومنها الطريقة الفوتوغرافية حيث ترسم

اولا ومن ثم تصور فوتوغرافيا وبعد عمليات الاظهار والتثبيت نحصل على اللوحة كما في الشكل ( 23-1 ) وهذه اللوحة تكون عادة شفافة للضوء ، حيث يركز الضوء وتتكون الصورة لجسم على أي بعد ، ولا بد ان نذكر ان هذا اللوح حساس جدا للتغيرات في طول الموجة حيث يظهر من المعادلة (1-30) من انها تتناسب عكسيا مع طول الموجة . وهناك عدة تطبيقات بسيطة اخرى لحيود فرنيل مثل حالة الفتحة المستطيلة (Rectangular aperture) ، وكذلك حالة الشق (slit) والحافة المستقيمة ، ولقد تم شرح هذه الحالات بشيء من التفصيل من قبل

G . R . Fowles .



شكل 23-1

## 1- 12 التصوير بثلاثة ابعاد Holography

يتألف المصطلح الهولوجرافي من كلمتين أغريقيتين ، ( holos ) وتعني ( whole ) و ( graphein ) وتعني ( to write ) وتركيب الكلمتين يعني ( Complete writing ) أي الكتابة التامة .  
وقد جاء بفكرة الهولوجرافي ( وهي إعادة تركيب جبهة الموجة .

Denise Gabor العالم الفيزيائي الشهير كابرور wave reconstruction في عام ١٩٤٨ ، ولم تبلور هذه الفكرة ولم توضع موضع التطبيق إلا في منتصف الستينات وبعد اكتشاف اشعة الليزر احادية الموجة او اللون Monochromatic ومنذ ذلك اليوم والهولوجرافي يتقدم في كل يوم حتى اصبح من ابرز المكتشفات التكنولوجية التي وجدت تطبيقات شتى ، ومفهومه الحقيقي هو تسجيل الصورة بثلاثة ابعاد بدلا من بعدين كما في حالة التصوير الاعتيادي .  
ولنرى الآن ما هي فكرة إعادة تركيب جبهة الموجة .

## 1-12-1 اعادة تركيب جبهة الموجة بواسطة :

### Reconstrtion of the wave front by diffraction holography

تستعمل شاشة حيود خاصة في هذه الطريقة ، وتدعى بالهولوكرام ( Hologram )  
 لاعادة تركيب تفاصيل مجال الموجات المنبعثة من الجسم المضاء بالليزر ، اي من مصدر  
 احادي الموجة ، ولعمل الهولوكرام تقسم حزمة الليزر ( Laser ) من المصدر الى قسمين  
 ( حزمتين ) تسقط احدى الحزمتين على الجسم الذي يراد تصويره ومنه الى لوح فوتوغرافي  
 حساس جدا ، واما الحزمة الثانية فتسقط بواسطة مرآة او اكثر على اللوح الفوتوغرافي مباشرة  
 وتدعى هذه الحزمة بحزمة المرجع ( Reference beam ) وبذلك يتعرض اللوح  
 الفوتوغرافي للاضاءة من الحزمة المنعكسة من الجسم والاخري من المصدر مباشرة في آن  
 واحد ويمكن تمثيل التجربة في الشكل ( 24-1 ) . ومحصلة تسجيل نمط التداخل  
 ( interference Pattern ) تحوي على تفاصيل غاية في الدقة عن الجسم  
 مسجلة على اللوح الفوتوغرافي الذي يكون الهولوكرام ، وبعد اظهار هذا الهولوكرام  
 ( Developed ) بالطرائق الفوتوغرافية يضاء بحزمة منفردة من مصدر الليزر كما في  
 الشكل ( b24 ) حيث تتكون الصورة بثلاثة ابعاد نتيجة لحيود جزء من المجال الضوئي  
 ( الليزر ) فعندما ينظر الشخص يرى الجسم كاملا وبثلاثة ابعاد ، واذا غيرنا زوايا النظر  
 فأتنا سنرى تفاصيل اخرى وبوضوح مفرط .

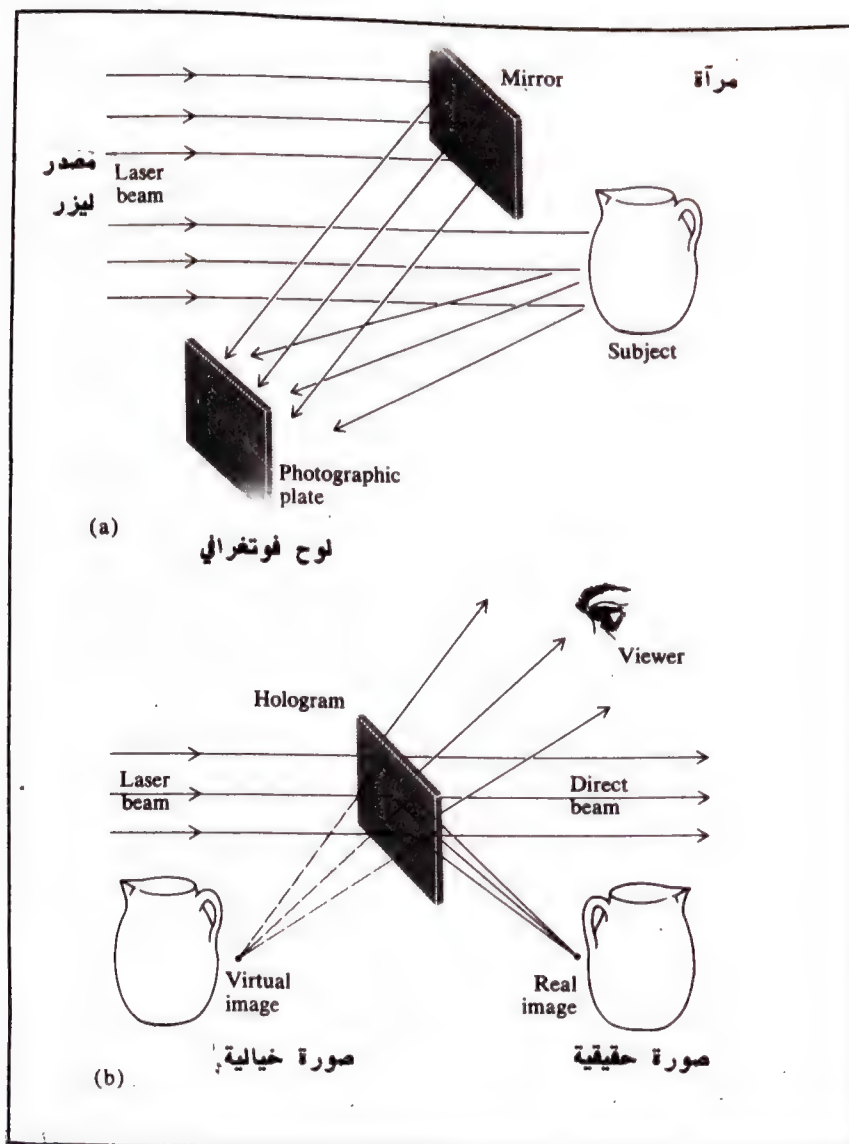
ولتأت الآن لمناقشة نظرية الهولوكرافي واعادة تركيب جبهة الموجة بشكل مبسط ،  
 ولأجل ذلك نعتبر حزمة المرجع موجة مستوية ولنفرض ان  $x$  و  $y$  هما احداثيان في مستوى  
 اللوح الفوتوغرافي ولتكن  $U(x, y)$  دالة مركبة لسعة جبهة موجة الليزر المنعكسة  
 في المستوى  $xy$  .

وبما ان الدالة  $U(x, y)$  عقدية ، فيمكن كتابتها بالشكل التالي :

$$U(x, y) = a(x, y) e^{i\phi(x, y)} \quad (31-1)$$

حيث  $a(x, y)$  هي دالة حقيقية





شكل 24-1

والآن لنعبر عن السعة العقدية لحزمة المرجع بالدالة  $U_0(x, y)$  ، وبما ان هذه الموجة هي مستوية فيمكن كتابتها على الشكل التالي .

$$U_0(x, y) = a_0 e^{i(\mu x - \nu y)} \quad (32-1)$$

حيث  $a_0$  هي كمية ثابتة ،  $\mu$  و  $\nu$  هما الترددات المكانية (spatial frequencies) لحزمة المصدر في المستوى  $xy$  . حيث ان :

$$\mu = K \sin \alpha \quad , \quad \nu = K \sin \beta$$

وكما هو معروف ( $k$ ) يمثل العدد الموجي لضوء الليزر  $(\frac{2\pi}{\lambda})$  والزوايا  $\alpha$  و  $\beta$  يحددان اتجاه حزمة المرجع .

مما تقدم يمكننا ان نقول ان شدة الليزر  $I(x, y)$  التي ستسجل على اللوح الملوّح الفوتوغرافي تكتب كما يلي :

$$I(x, y) = |U + U_0|^2 = a^2 + a_0^2 + 2aa_0 e^{i(\phi(x, y) - \mu x - \nu y)} + 2aa_0 e^{-i(\phi(x, y) - \mu x - \nu y)}$$

$$I(x, y) = a^2 + a_0^2 + 2aa_0 \cos[\phi(x, y) - \mu x - \nu y] \quad (33-1)$$

المعادلة (33-1) ما هي الا نمط تداخل معبرا عن السعة وتحويل الطور للترددات المكانية لحزمة المرجع .

عندما يضاء الهولوكرام ( اللوح الفوتوغرافي ) بحزمة منفردة  $U_0$  مشابهة لحزمة المرجع ينتج عن ذلك حزمة نافذة  $U_T$  وهذه تتناسب مع حزمة المصدر اي ان :

$$U_T \propto U_0$$

$U_T$  متناسب مع نفوذية الهولوكرام التي بدورها تتناسب مع الشدة اي ان ( باهمال الثابت ) نحصل على :

$$U_T(x,y) = U_0 I = a_0(a^2 + a_0^2) e^{i(\mu x + \nu y)} + a_0^2 a e^{i\phi} + a_0^2 a e^{-i(\phi - 2\mu x - 2\nu y)}$$

$$U_T(x,y) = (a^2 + a_0^2) U_0 + a_0^2 U + a_0^2 U^{-1} U_0^{-2} a^2 \quad (34-1)$$

في الحقيقة يسلك الهولوكرام سلوك محزز الحبيد ، حيث يؤدي الى حزمة مباشرة ( غير محادة ) وحزمتين على جانبي الحزمة المباشرة كما في الشكل ( 24 b ) ، حيث يمثل الحد  $U_0(a^2 + a_0^2)$  الحزمة المباشرة والحد  $a_0^2 u$  يمثل احدى الحزمتين المحادتين حول الحزمة المباشرة وهذا الحد هو الذي يؤدي الى تكوين الصورة الخيالية للجسم ، والحد الأخير في المعادلة (34-1) يؤدي الى تكوين الصورة الحقيقية للجسم ، وللتعمق في دراسة لهولوكرافي وتطبيقاته نظريا وعمليا يجب الرجوع الى

( Francis T.S.yu )

س ١ :- مصدر نقطي ضوئي ( Point source ) يمكن استعماله في تجارب الحيود ، يبعد عن فتحة الحيود 5 أمتار ، فإذا كانت الفتحة ذات قطر 1 ملم ، بين فيما اذا كان نوع الحيود هو فرانهوفر أو فرنيل مع العلم المسافة بين نقطة الملاحظة ( الشاشة ) وفتحة الحيود هي :

آ - 10 سم

ب - 50 سم

ج - 5 سم

مع فرض ان طول الموجة للضوء هي  $5000 \text{ \AA}$

$$(\lambda = 5000 \text{ \AA} = 500 \text{ nm})$$

س ٢ :- برهن على ان القيم العظمى الثانوية لنمط الحيود من شق منفرد لحالة حيود فرانهوفر تحدث لقيم

$$\beta = \tan \beta$$

$$\beta = 1.43\pi, 2.46\pi, 3.47\pi$$

وبين ان الجذور الثلاثة الاولى هي

تقريبا ، وحقق ان للجذور قيما بصورة عامة  $\pi(n + \frac{1}{2})$

عندما تكون n كبيرة جدا ، مع العلم ان n هو اي عدد كامل مثل

$$(1, 2, 3, 4, \dots)$$

س ٣ :- لقد وجد في تجربة حيود فرانكوفر من فتحة ذات الشقين ( double slit ) غياب القيمة العظمى الثانوية الرابعة ، فما هي نسبة عرض الشق ( b ) الى المسافة بين الشقين (h)

س ٤ :- برهن على ان نمط حيود فرانكوفر من فتحة ذات شقين تختزل الى نمط حيود لشق منفرد ذات عرض ( width )  $2b$  ويكون العرض يساوي المسافة بين الشقين اي ان  $b=h$

س ٥ :- محرز حيود بعرض 1000 خط / ملم ، فكم يجب ان يكون اتساع (width) المحزركي يحلل حزمة الليزر ( Laser ) ذات طول موجة  $6328\text{\AA}$

( 8nm 632 ) ، الفرق بين تردد طول خطوط حزمة الليزر هو 450 MH  
( 450 مليون دورة في الثانية ) .



## الفصل الثاني

---

## 2.1 خواص الاشعة السينية Properties of the x-ray

اكتشف الاشعة السينية العالم الالماني Rontgen والذي حصل على جائزة نوبل سنة 1913 نتيجة لاكتشافه هذا ، وبالنسبة ان هذا العالم يعتبر اول فيزيائي يحصل على هذه الجائزة وتسمى الاشعة السينية في كثير من امهات الكتب باسم مكتشفها .

الحقيقة ان تاريخ اكتشاف هذه الاشعة حافل بالعبر العلمية وكيفية تطوير التجارب والاستنتاجات حيث انه تاريخ طويل يبدأ من سنة 1814 ومن يرغب في الاطلاع على المادة التاريخية بالتفصيل فعليه الرجوع الى Lipson

من الخواص الاولى التي تتبادر الى الذهن ، هي تأثير الاشعة السينية عند مرورها بالمواد المختلفة ( قابلية المواد لامتصاص هذه الاشعة ) . فقد ثبت عمليا ان المواد تختلف في قابلية امتصاصها للاشعة السينية ، فيعتمد ذلك على الوزن الذري للذرات المكونة لتلك المادة ، فالبلوتينيوم ( pt ) والرصاص ( pb ) يمتصان الاشعة السينية اكثر من الفضة والنحاس ولا يمكن اعتبار الالمنيوم مادة تمتص الاشعة السينية . ومن الممكن ان تكون اهمية موضوع امتصاص الاشعة السينية اكثر وضوحا واهمية عندما نقارنه مع الضوء الاعتيادي : فمثلا يمتص الضوء بشكل كلي بواسطة صفيحة رقيقة قد تكون مكونة من ذرات خفيفة ، من الليثيوم او البرليوم على سبيل المثال ، بينما مادة الزجاج التي قد تكون حاوية على ذرات ثقيلة مثل الرصاص تكون شفافة للضوء ، وهذا طبعا يحتاج الى تفسيرات فيزيائية ولكن الذي نريد ان نقوله هو ان الاشعة السينية تتأثر بعوامل مرتبطة بأساسيات الذرات اكثر من الضوء . كما ان من خواص الاشعة السينية انها تؤثر في اللوح الفوتوغرافي ، كبقية الاشعاعات ولهذا يمكن التصوير بالاشعة السينية . ولهذه الخاصية الاخيرة تطبيقات تكنولوجية عظيمة مثل الفحوصات اللاتدميرية للمواد ، والخاصية الاخرى للاشعة السينية انها تأين الوسط الذي تمر فيه . فمثلا عند مرور هذه الاشعة بانبوب يحوي على غاز يمكننا الكشف حينئذ عن تأين الغاز بسهولة .

وفي الحقيقة ان تحذير اطباء اللسان بعدم التعرض للاشعة السينية الا عند الحاجة القصوى لها مايررها حيث ان تأتي ذرات الانسجة الحية نتيجة مرور



الاشعة ، يؤدي الى تغيرات تركيبية وفيزيولوجية خطيرة .  
والخاصية المهمة الاخرى : هي ان الاشعة السينية تستطير ( Scattering )  
بواسطة المواد ( material ) ، فاذا ما وضعنا قطعة من مادة في مسار الاشعة ،  
نجد ظهور اشعة سينية مختربة جديدة منبعثة في اتجاهات عديدة خارجة من المادة  
( النموذج ) . تماماً مثل الضوء ، فاذا نظرنا الى جو مغبر ( dusty air ) لرأينا  
بأعيننا نمط استطارة الضوء وهذه الاستطارة هي التي تجعلنا قادرين على رؤية وتمييز الاجسام  
المضاءة اذ اننا نرى الاجسام نتيجة لخاصية الاستطارة هذه ( تنطبق هذه الحقيقة على  
الاضاءة بحزمة الكترونية او اشعة سينية او نيوترونات او أي مصدر آخر ) .

قبل الغور في خواص الاشعة وكيفية تفاعلها مع المادة ، اشتقاق المعادلات الرياضية ،  
لا بد من فهم مصدر هذه الاشعة ( Origin of X - ray ) :  
يعلم الكل ان الاشعة السينية هي عبارة عن اشعة كهرومغناطيسية ذات طول موجي  
قابل للقياس بتجربة بسيطة ، قد تكون هذه المعلومات كافية للذي يريد ان يستخدم هذه  
الاشعة كوسيلة للقياس ، ولكن من الضروري ان نعرف كيفية توليد هذه الاشعة ومصدرها ،  
حيث يساعد ذلك الباحث او الطالب في تطوير او تصميم تجارب جديدة او تفسير النتائج  
التي يحصل عليها .

ولنبداً في كيفية توليد هذه الاشعة : تتولد الاشعة السينية عند تباطؤ الالكترونات  
السريعة . ولو فرضنا ان الكترونا سريعاً ( ذو طاقة معينة ) تحولت طاقته الحركية الى  
فوتون ( quantum ) بطاقة قدرها  $h\nu$  حيث تمثل  $\nu$  التردد و  $h$  ثابت بلانك  
( Planck Constant ) وبما ان التردد يساوي  $\nu$  ، اذا طول الموجة المصاحبة  
يساوي ما يلي :-

$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

حيث تمثل  $c$  سرعة الضوء ( من الطبيعي ان الاشعة السينية تسير بسرعة الضوء ) عند  
تعجيل الكترون ذو شحنة  $e$  باستخدام فرق جهد قدره  $V$  ، فإن الطاقة الحركية  
لهذا الالكترون تساوي  $eV$  ، وبذلك تكون طول موجته تساوي ما يلي :

$$\lambda = \frac{hc}{eV} \quad (1-2)$$

بصورة عامة ان الالكترون هذا لا يفقد طاقته عند اول صدمة مع ذرات مادة الهدف وانما يعمل عدة تصادمات قبل ان يفقد طاقته بصورة كاملة ، لذلك فأن طول الموجة المعبر عنها في المعادلة ( 1-2 ) تمثل اقصر موجة طويلاً يمكن الحصول عليها ، حيث هناك اطوال موجات مختلفة في عملية انبعاث الاشعة السينية ، تكون بمجموعها طيفاً احصائياً ( Spectrum ) ، كما يوضحه الشكل ( 1-2 ) ويتكون الطيف من قسمين ، جزء مستمر ( Continuous ) وتبرز عليه قمم حادة ( Peaks ) والذي يدعى بالاشعة البيضاء وتتكون من خليط من اطوال الموجات والقمم الحادة تكون احادية الموجة تقريبا تدعى بالطيف المميز ( Characteristic Spectrum ) وتعتمد على طبيعة ذرات المعدن ، بحيث ان لنوع من الذرات انبعاثاً اشعاعياً يختلف عن الذرة الاخرى بالطاقة ( طول الموجة ) والشدة ، وبسبب هذه الخاصية يمكن استعمال الاشعة السينية ككاشف عن نوع الذرات او العنصر .

يتولد الطيف المميز هذا بالشكل التالي : عند اصطدام الالكترونات السريعة بالكترونات المدارات الداخلية للذرة ( Inner shell electron ) فمن المحتمل ان تكتسب هذه الالكترونات الاخيرة طاقة اكثر من الطاقة التي تشدها الى ذراتها وبذلك تترك الذرة ، عملية تأيين ( Ionization ) يبقى مكانها خاليا او بالاحرى مدارها ناقصا لذا قد يسقط الكترون من المدارات الخارجية ( outer shell ) ، الاكثر بعدا عن النواة اليها ان فرق الطاقة لهذا الالكترون المنتقل من المدار الخارجي الى مدار داخلي تنبعث الى خارج الذرة على هيئة اشعة سينية . ولنفترض أن  $E$  تمثل الفرق في الطاقة بين المدارين ، عند ذلك يكون طول موجة

$$\lambda = \frac{hc}{E}$$

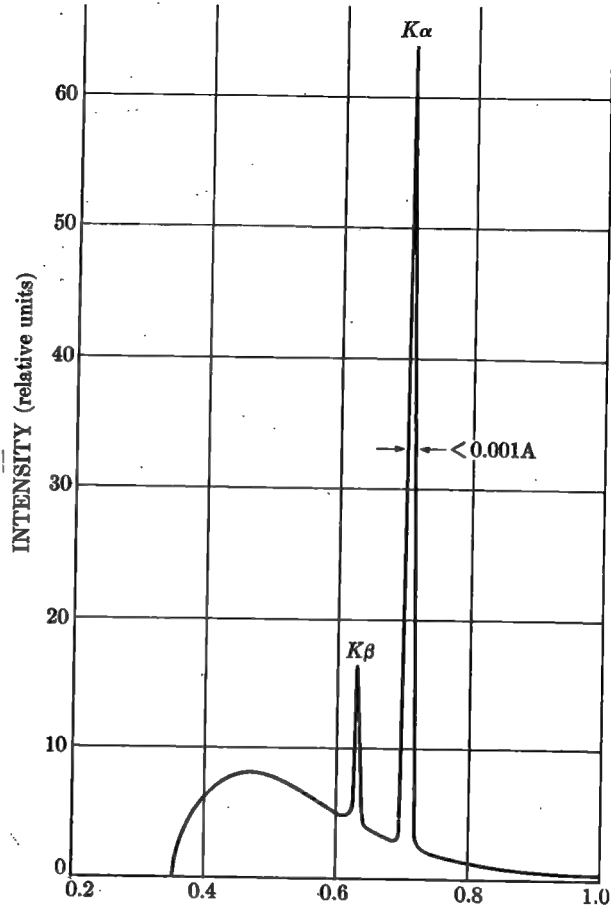
وكما ذكرنا سابقا ان  $E$  تختلف باختلاف الذرات او العناصر ، لذلك تكون طول موجة الانبعاث معتمداً على ذرات العنصر .

تتخذ  $E$  قيما مختلفة للذرة معينة ، تعتمد على المدارات التي تنتقل بينها الكترونات الذرات وبذلك تكون طيفا خاصا ولكنه اضيق من الطيف الابيض بكثير .

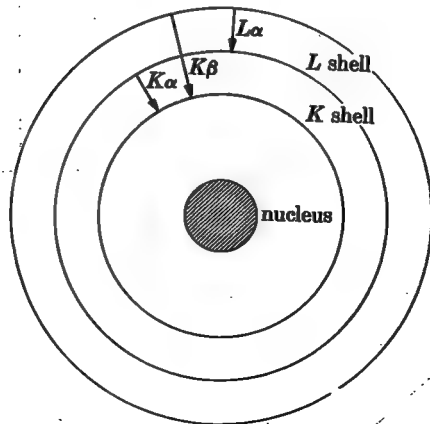
ان الشكل ( 2-2 ) يوضح فكرة تولد الأشعة نتيجة انتقال الالكترونات من مدار الى آخر .

# PROPERTIES OF X-RAYS

شکل (1- 2)



شکل (2- 2)



فعندما يترك الكترون المدار  $K$  من الذرة ويحتل محله الكترون المدار  $L$  فإن الأشعة السينية المنبعثة تدعى  $K_{\alpha}$  وعندما يحتل محل الكترون  $K$  الكترون آخر من المدار  $M$  ، في هذه الحالة تدعى الأشعة السينية  $K_{\beta}$  ( وهذا الاحتمال الاخير بعيد الحدوث ) .

ما تم تفصيله اعلاه يمثل الاجزاء الرئيسة من طيف الاشعة السينية والتي تستخدم في تجارب الحيود .

## 2-2 امتصاص الاشعة السينية : Absorption

عند مرور الاشعة السينية خلال اي سمك معين من مادة ما ، فإن جزءا منها يمتص من قبل تلك المادة ، نتيجة لتفاعل هذه الاشعة مع الذرات المكونة للمادة او الافضل مع الالكترونات المشدودة الى الذرات لتلك المادة . وتوضح التجارب ان النقصان (Fraction decreases ) في شدة الاشعة المارة خلال المادة المتجانسة تتناسب مع المسافة المقطوعة خلال المادة (  $x$  ) او مع السمك في بعض الاحيان وكما توضح ذلك المعادلة التالية :

$$-\frac{I}{dx} = \mu x \quad \text{-----} \quad (2-2)$$

حيث تمثل "I" شدة الاشعة السينية ، بينما تمثل  $\mu$  ثابت التناسب .  
يعتمد ثابت التناسب ( $\mu$ ) هذا على كثافة المادة وكذلك على طول الاشعة المسلطة على النموذج .

باجراء التكامل على طرفي المعادلة (2-2) اعلاه نحصل على ما يلي :

$$I_x = I_0 e^{-\mu x}$$

حيث تمثل كل من  $I_0$  و  $I_x$  الشدة الاصلية والمتبقية بعد ان قطعت مسافة قدرها (  $x$  ) داخل المادة على النحو التالي :

يتناسب معامل الامتصاص الخطي  $\mu$  مع كثافة مادة الهدف ( Density ) وهذا يعني ان  $\mu/m$  ( تمثل  $m$  كثافة مادة الهدف ) كمية ثابتة وخاصة من خواص مادة الهدف هذه . وعدم اعتمادها على الحالة الفيزيائية للمادة ( سواء كانت صلبة ، غازية او سائلة ) .

وتدعى الكمية  $\mu/m$  بمعامل الامتصاص الكتلي (mass absorption coefficient) ويمكن ايجاد قيمة هذه الكمية في جداول خاصة ، والسبب كما ذكرنا انها تمثل خاصية من خواص المادة ومن خلالها يمكن تمييز تلك المادة .  
لذلك يمكن كتابة المعادلة (2-2) بشكل عملي ومفيد كما يلي :

$$I_x = I_0 e^{-\left(\frac{\mu}{\rho}\right) \rho x} \quad \text{-----} \quad (2-3)$$

في بعض الاحيان يكون من الضروري جدا معرفة قيمة معامل الامتصاص الكتلي لمادة تحتوي على اكثر من عنصر واحد ( ذرات مختلفة ) بغض النظر عن حالة المادة الفيزيائية فإن قيمة معامل الامتصاص الكتلي يساوي معدل معامل الامتصاص الكتلي للذرات المكونة لتلك المادة .

فاذا افترضنا ان  $w_1, w_2, w_3, \dots$  تمثل النسب الوزنية للعناصر المكونة للمادة في هذه الحالة تصبح قيمة معامل الامتصاص الكتلي للمادة مساويا لما يلي :

$$\mu/\rho = w_1 (\mu/\rho)_1 + w_2 (\mu/\rho)_2 + w_3 (\mu/\rho)_3 + \dots \quad (2-4)$$

اما الكيفية التي بها يتغير معامل الامتصاص الكتلي للمادة مع طول موجة الاشعة السينية المسلطة على المادة تعطي مفتاح فهم لعملية تفاعل هذه الاشعة مع المادة ، في الحقيقة يمكن التعبير عن معامل الامتصاص الكتلي وتغيره مع طول الموجة وبشكل تقريبي وفق المعادلة التالية :

$$\mu/\rho = K \lambda^3 Z^3 \quad \text{-----} \quad (2-5)$$

حيث تمثل  $K$  ثابتا ويختلف قيمته بتغير موقعها من الدالة ، اما  $(Z)$  فهي العدد الذري للمادة الماصة للاشعة السينية .

بنظرة بسيطة الى المعادلة اعلاه نستطيع استنتاج ، ان الاشعة السينية ذات الطول الموجي القصير تحون اكثر اختراقا للمادة وتدعى بالصعبة ( Hard ) بينما الاشعة السينية ذات الطول الموجي الكبير تمتص بسهولة مفرطة وتدعى باليسيفة ( Soft ) .

كما نرى أننا اعطينا  $\mu/p$  اهتماما كبيرا والسبب هو اهميتها في تجارب الحيود وفهم تفاعل الاشعة السينية مع المادة .

ان المادة ( الهدف والنموذج تحت الاختبار ) تمتص الاشعة السينية بطريقتين

متميزتين هما :

١ - طريقة الاستطارة . ( Scattering )

٢ - طريقة الامتصاص الحقيقية ، التي تكلمنا عنها .

ويمثل ذلك العامل  $\mu/p$  مجموع الامتصاص .

المقصود من تصنيف الاستطارة بأنها نوع من الامتصاص هو ما يلي :

ان استطارة الاشعة السينية من قبل المادة مشابه لحالة استطارة الاشعة الضوئية

الاعتيادية من قبل الهواء المعبأ بالغبار ( dusty air ) حيث تكون الاستطارة في

جميع الاتجاهات .

تعني الاستطارة بالنسبة الى الاشعة السينية نقصانا في قيمة الشدة بالاتجاه الاصلي .

من الناحية العملية ، نحن لسنا بحاجة الى طيف الاشعة السينية المتولدة بأكملها ،

كما في الشكل رقم ( 1-2 ) انما نحتاج الى جزء من هذا الطيف وهو الجزء الذي

يكون اكثر شدة واقرب ما يكون الى احادي اللون او ذي طول موجي واحد وهذا يعني

انه لا بد من استعمال مصفاة ذات مرشح ( filter ) للحصول عمليا على الجزء

المطلوب .

ويحتاج استخدام المصفاة الى فهم جيد لطبيعة الطيف وطبيعة مادة المصفاة نفسها .

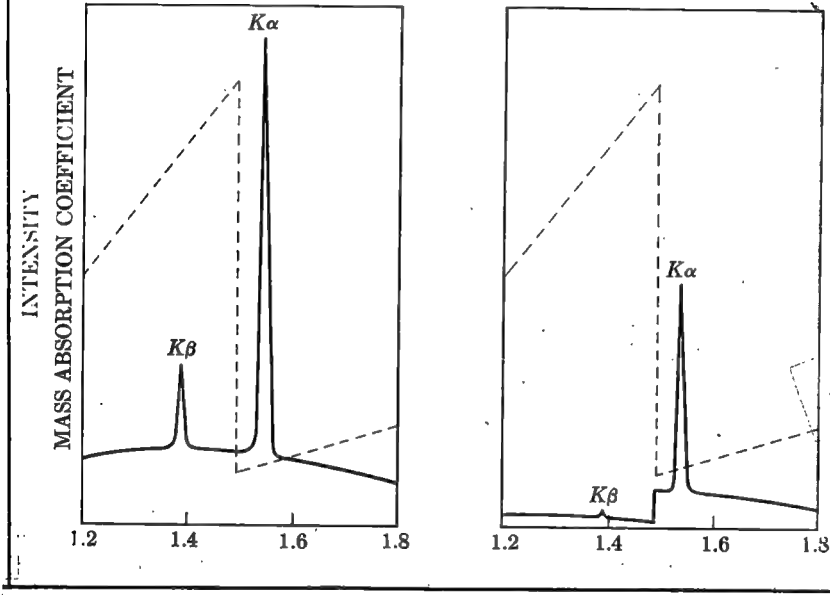
يمكن توضيح ذلك بالشكل ( 2-3 ) حيث يوضح الشكل المقارنة بين طيف الاشعة

السينية عن هدف هو النحاس .

أ - الطيف قبل المرور بالمصفاة

ب - الطيف بعد المرور بمصفاة من مادة النيكل

# PROPERTIES OF X-RAYS



(a)

(b)

شکل (3-2)

وتمثل المنحنيات ذات الخطوط المنفصلة ( غير المستمرة ) دالة معامل الامتصاص

الكتلي .

في الحقيقة ان خاصية مادة المصفاة يجب ان تكون ذات علاقة بخاصية مادة

الهدف ( سوف نشرحها فيما بعد ) . بصورة عامة ، فان قمم امتصاص " $K$ " في طيف

الاشعة السينية للمصفاة يجب ان تقع بين  $K_{\alpha}$  و  $K_{\beta}$  لمعدن الهدف .

نعود مرة ثانية فنقول ان العدد الذري لمادة المصفاة يجب ان يكون اقل من العدد

الذري لمعدن الهدف بواحد او اثنين .

في الشكل (3-2) كان الهدف هو معدن النحاس (  $Z = 29$  ) ، اما

معدن المصفاة فكان من النيكل (  $Z = 28$  ) كما يلاحظ القارئ ان شدة الخط

قد نقص في الشكل ( 3-2 ) بعد مروره طبعا خلال المصفاة .

وهذا متوقع والسبب نفاد الشدة نتيجة للامتصاص ، وكلما كانت مادة المصفاة

اكثر سمكاً فقدنا كمية اكبر من الشدة ، اي تقل نسبة شدة الاشعة الداخلة الى المصفاة

عن تلك الخارجة منه .

وندرج للاغراض العملية ادناه جدولاً يبين مواد الهدف المستعملة والمصافي المقابلة

وسمك المصافي التي يجب ان تستعمل وغير ذلك .

المصفاة عبارة عن صفيحة رقيقة من المعدن المطلوب ، عملياً لا يمكن الحصول

على صفيحة ثابتة من كافة المعادن ، عند ذلك يمكن استعمال اكاسيد تلك المعادن

حيث لها نفس الخواص بالنسبة لامتصاص الاشعة السينية .



جدول رقم (1-2)

| الهدف<br>Target | المصفاة<br>filter | سمك المصفاة<br>$\frac{I(K\alpha)}{I(K\beta)} = \frac{500}{1}$<br>للحزمة المختقة |        | الحزمة<br>الساقطة<br>$\frac{I(K\alpha)}{I(K\beta)}$ | مختقة<br>$\frac{I(K\alpha)}{I(K\beta)}$<br>ساقطة |
|-----------------|-------------------|---|--------|---|--|
|                 |                   | ملغم/سم <sup>2</sup>  | 1 m    |   |  |
| Mo              | zr                | 20  | 0,0043 | 5.4   | 0.3  |
| Cu              | Ni                | 18  | 0.0008 | 7.5   | 0.42   |
| Co              | Fe                | 13  | 0.0006 | 9.4   | 0.47   |
| Fe              | Mn                | 12  | 0.0006 | 9.0   | 0.47   |
| Cr              | V                 | 9   | 0.0006 | 8.5   | 0.48   |

## Production of X-ray

### 3-2 توليد الاشعة السينية :

كما ذكرنا سابقا ، أن الاشعة السينية تتولد عندما تتباطأ الالكترونات السريعة ، او عندما تصطدم هذه الالكترونات بهدف معدني . في الحقيقة ان الحالتين تمثلان وجهين لعملة واحدة ، لان اصطدام الالكترون بالهدف يعني فيزيائياً التباطؤ نتيجة لفقدان الطاقة وكذلك نتيجة للتفاعل مع الجهد الكولومبي ( Coulombic ) لالالكترونات الذرات المكونة للهدف ( المتكونة اعتيادياً من المعدن ) . الجهاز الذي يولد الاشعة السينية بكامله يدعى بانبوبة الاشعة السينية ( X — ray tube ) . وبعد معرفتنا طريقة توليد الاشعة السينية ، يمكننا ان نقسم الانبوبة الى الاجزاء الرئيسة التالية :

### Electron Source

أ - مصدر الالكترونات

ب - مصدر لتوليد الجهد العالي المعجل للالكترونات - Electron accelerator high-voltage source

### Metal target

ج - هدف معدني

وبما ان جزءاً كبيراً من طاقة الالكترونات المصطدمة بالهدف تتحول الى حرارة ، لذلك يجب تبريد الهدف اثناء توليد الاشعة السينية وذلك بطريقة تدوير الماء ، لتجاشي ( انصهار الهدف ) .

وكما هو الحال في مصادر توليد الالكترونات السريعة لغرض تجارب حيود الالكترونات كذلك يشمل مصدر الالكترونات المستخدم لتوليد الاشعة السينية على المصعد والمهبط ، حيث يكون فرق الجهد بينهما في الحالات الاعتيادية بين ( 30kv - 50kv ) ويمكن تقسيم انايب توليد الاشعة السينية الى نوعين :

أ - ذات الفتيلة : هذا النوع من المصادر يشتمل على فتيلة تسخن بتيار كهربائي خارجي .  
ب - انبوبة التأين : في هذا النوع من المصادر تتولد الالكترونات بواسطة تأين ( Ionization ) كمية قليلة من الغاز في الانبوبة .

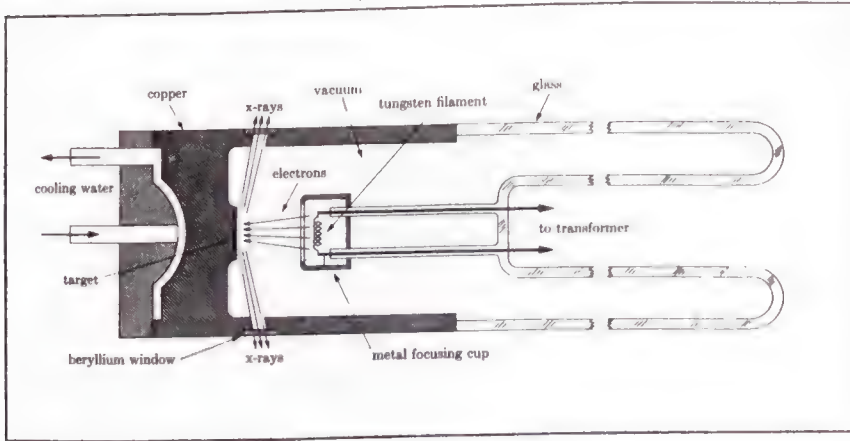
سنحاول شرح جهاز او انبوبة النوع الاول ، لانها اكثر استعمالاً .

## Filaments tubes

### 1-3-2 الأنبوبة ذات الفتيلة :

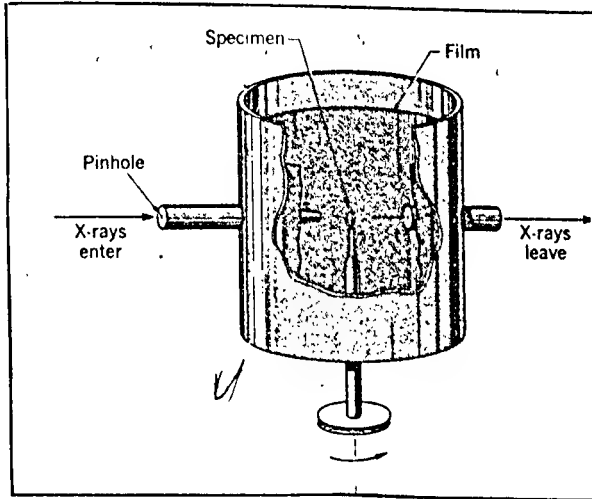
يتكون هذا الجهاز بصورة رئيسة من انبوب زجاجي كبير نسبيا ومفرغا من الهواء ( evacuated tube or glass envelope ) يعزل الغلاف الزجاجي المهبط الذي هو في نهاية الانبوب عن المصعد الذي هو في النهاية الاخرى ويتكون المهبط ( Cathod ) من فتيلة التنكستون ، المصعد ( الأنود Anode ) من جسم معدني مثل النحاس والذي يكون الهدف المطلوب ويبرد كما ذكرنا آنفا .

الشكل ( 4-2 ) يبين تخطيطا لجهاز توليد الاشعة السينية . من الواضح ان احدى نهايتي محولة الجهد العالي مربوطة بالفتيلة والنهية الاخرى بالارض ( earth ) لشحن الفتيلة بتيار مقداره حوالي 3mA ، تنبعث الالكترونات التي تعجل ( تسحب ) بشدة نحو الهدف بتأثير فرق الجهد العالي بين نهايتي الأنبوبة .



شكل (4-2)

هناك شبه عدسة مغناطيسية تدام بنفس فرق جهد الفتيلة وظيفتها تركيز الحزمة  
 الالكترونية على منطقة صغيرة من الهدف ( focusing of the beam )  
 عند اصطدام الالكترونات بالهدف تتولد الاشعة السينية وتنبعث في كل الاتجاهات  
 ويكون هنالك منفذ في الانبوبة ( لا يسمح بدخول الهواء الى الانبوبة الذي يكون شفافا  
 للاشعة السينية )، فمن خلال هذا المنفذ تخرج الاشعة السينية حيث يتم السيطرة عليها ،  
 بعد تصفيتها تستخدم عندئذ لاغراض الحيود .  
 جدير بنا ان نذكر ان المنفذ في جسم الانبوبة كالبرليوم ، الألمنيوم والمايكا وقد  
 تستعمل مواد اخرى ايضا .



شكل (5-2)

لتوضيح عملية توليد الاشعة السينية بشكل مبسط جدا انظر الشكل ( 5 - 2 ) من المفيد ان نبين الربط الكهربائي بصورة عامة لاي انبوبة لتوليد الاشعة السينية ، نموذج من ذلك موضح في الشكل ( 6-2 ) .

تنتج الشركات نوعين من انايب توليد الاشعة السينية هما :

- أ - انايب تفرغ من الهواء في المصنع وتلحم هناك .
- ب - انايب يمكن فتحها وتفرغها ، والسبب انها مزودة باجهزة تفريغ وتكون اكبر حجما نسبيا .

النوع الاول يكلف كثيرا من الناحية المادية ، حيث يجب ان تتوفر عدة انايب كل انبوبة تحتوي على هدف من معدن معين . يعتمد نوع الهدف المستخدم على نوع التجربة او البحث ويكون عمر الانبوبة مرتبطاً بعمر فتيلة التنكستن الذي يعد بساعات العمل .

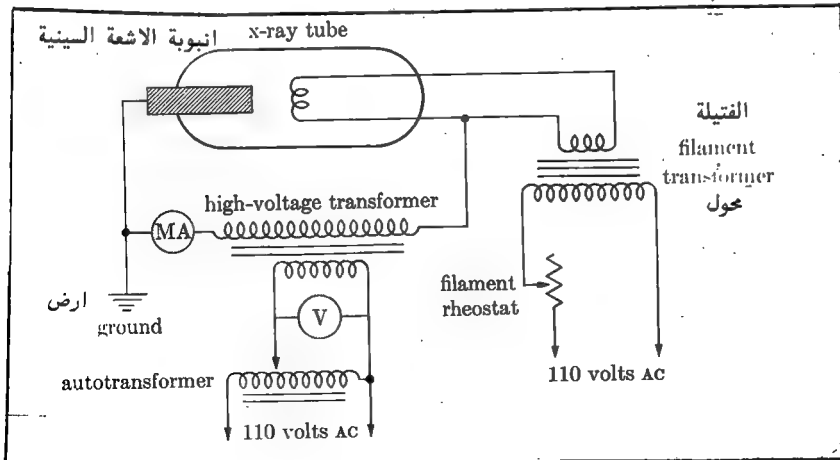
بينما النوع الثاني والذي هو الاكثر ملائمة لمختبرات البحث ، يتمكن الباحث ان يبدل الفتيلة بسهولة فائقة وكذلك ابدال الهدف بأخر ملائم .

(Sealed-off tube)

النوع الاول يدعى بـ

(demountable)

اما النوع الثاني فيدعى بـ



شكل (6-2)

## 4-2 الكشف او تسجيل الاشعة السينية : Detection of X - rays

ان الطريقة الرئيسة المستخدمة للكشف عن الاشعة السينية هي وضع شاشة فلورسنتية ( fluorescent Screen ) في مسلك الاشعة فتتوهج هذه الشاشة ويظهر عليها تفاصيل النموذج سواء كان نمط حيود او صورة .

من الطرق الشائعة الاستعمال هي التصوير باستخدام اللوح الفوتوغرافي الذي تختلف مادة طلائه عن تلك التي تستخدم للتصوير الضوئي او الالكتروني . ويكون الاختلاف بين اللوحين الفوتوغرافيين في ان الجسيمات التي تكون طلاء اللوح الفوتوغرافي للأشعة السينية كبيرة نسبيا عن تلك التي تستخدم لاجراض اخرى ، وغالبا ما يستخدم اللوح الفوتوغرافي لتسجيل انماط حيود النماذج المختلفة .

بما ان جسيمات الطلاء كبيرة ، لذلك فان هذا الطلاء غير قادر على استيعاب التفاصيل الدقيقة جدا . هذه المشكلة تظهر في النواحي العملية عندما يراد تكبير انماط الحيود او الصور المأخوذة بالاشعة السينية . هناك طريقة مشهورة للكشف عن الاشعة السينية وهي طريقة التأين ( Ionization device ) حيث تستعمل مادة سلفايد الزنك ( Zinc Sulfide ) على الشاشة الفلورسنتية بهيئة طبقة رقيقة تحوي على كمية قليلة من النيكل ، ولكن هذه الطريقة غير حساسة لاحزمة الحيود الضعيفة ولكنها تفيد كثيرا في تقويم الجهاز عند النظر للحزمة الرئيسة . هناك طريقة كشف حساسة جدا للاشعة السينية وهي طريقة العداد الومضي ( Scintillation Counter ) كما ان هناك حقيقة سبق وان اشرنا اليها وهي ان المواد المختلفة لها معامل امتصاص كتلي مختلف تعتمد على الكثافة والسلك وطول موجة الاشعة .

لذلك فان الطلاء يجب ان يكون سميكاً وغالبا ما يُطلى جانبا اللوح الفوتوغرافي . درجة تأثير هذا الطلاء الفوتوغرافي بالاشعة المتكونين الصور تعتمد على طول موجة الاشعة . من هذا نستنتج انه يجب الانتباه في الاغراض العملية الى ان هناك عدة انواع من الطلاء الفوتوغرافي ذات تفاصيل وخصوصيات تعتمد على ظروف التجربة وخواص الاشعة السينية المستعملة . قد نعود مرة ثانية لشرح طريقة التسجيل الفوتوغرافي بشيء من التفصيل .

## (5-2) الوقاية من الاشعة السينية :

يتعرض مشغل اجهزة الاشعة السينية لمصدرين من المخاطر هما :

- ١ - تسلم جرعة كبيرة من الاشعة والتي تكون مؤذية للصحة بالطبع .
- ٢ - تعرضه للصدمات الكهربائية ، نتيجة اشتغال الجهاز بالجهد العالي ، لحسن الحظ يمكن تقليل تأثير هذين الخطرين وذلك بتصميم المعدات بشكل سليم ومتقدم تكنولوجيا ، كما يجب الان ننتس الحيلة والحذر من قبل المتعاملين مع هذه الاجهزة .

أما المخاطر المتأتية من الصدمات الكهربائية فهي معروفة في اصلها وسهلة التحاشي لها ، اما بالنسبة لمخاطر التعرض للاشعة ، فهذه كما ذكرنا سابقا تعتمد على حيلة المشغل باستمرار ، وكما هو معروف أن الاشعة السينية هي من الاشعاعات المؤينة اي انها تقتل الخلايا الحية وهذه الخاصة الاخيرة تستخدم في علاج خلايا السرطان والاورام الاخرى بواسطة الاشعة السينية العميقة . في جميع المختبرات التي فيها اجهزه الاشعة السينية ، يُراقب العاملون باستمرار وبشكل دوري بواسطة فحوصات الدم ، للكشف عن كريات الدم البيضاء حيث اذا ما تسلم جسم الانسان جرعة كبيرة تفوق المسموح بها ، فان هذه الكريات تقتل ولذلك يقل عددها في الدم .

ان الحيلة وفهم السلامة المهنية كفيلاان بعدم حدوث أية اضرار في صحة العاملين .

### اسئلة

س ١ - ما هو التردد وما هي الطاقة للفوتون الواحد ( Per quantum ) بوحدات الايركات ( ergs ) للاشعة السينية ذات طول موجة 0.71A

$$(Mok\alpha) / (Cuk\alpha) 1.54A^\circ \text{ ؟}$$

س ٢ - احسب سرعة الالكترون وطاقتة الحركية في انبوبة توليد الاشعة السينية عندما يكون معجلا بفرق جهد 50K V ما هو طول الموجة الادنى

( Short wave limit ) المنبعثة في المنطقة المستمرة من طيف الاشعة او كما تسمى بالاشعاع الابيض وما هي اقصى طاقة للفوتون المنبعث؟

س ٣ - تستعمل حواجز الوقاية المصنوعة من الرصاص في مختبرات تجارب الحيود بكثرة لوقاية العاملين وتكون عادة بسبك (١) ملم ، احسب عامل الاشعة

$$\text{المختترقة } \left( \frac{I_{trans}}{I_0 \text{ incid}} \right) \text{ لهذه الحواجز للاشعاعات } Mok\alpha$$

وكذلك الحد الادنى لطول الموجة ، مع العلم ان الانبوبة تعمل بفرق جهد قدره 60 KV ؟

س ٤ - صفيحة من الالمنيوم واحد ملم ، تقلل شدة الاشعة السينية المختترقة لها الى 23.9 بالمائة من قيمتها الاصلية . ما هو طول موجة الاشعة السينية هذه ؟

س ٥ - لنفرض وجوب استعمال مصفاة من مادة النيكل ، حيث تؤدي الى الحصول

على نسبة الشدة بين  $Cuk\beta$  و  $Cu\beta$   $\left( \frac{1}{100} \right)$  للاشعة المصفاة احسب سمك المصفاة (Thickness of the filter) وعامل الاشعة

$$\text{المختترقة } \left( \frac{I_{trans}}{I_0 \text{ incid}} \right) \text{ للخط } Cuk\beta \text{ للنيكل } (\mu/m) \text{ للخط } Cuk\beta \text{ يساوي } (286 \text{ cm}^3 / \text{gm}) .$$



## الفصل الثالث

---



### 1.3 البناء الهندسي للبلورة

كما هو واضح من عنوان هذا الكتاب ، انه يبحث في موضوع دراسة المواد (Materials) على مستوى دقيق لتعيين التراكيب الداخلية والخواص البنائية وذلك باستعمال تكنيك الحيود للجسيمات والاشعاعات ، المستعملة في الوقت الحاضر في مختبرات البحوث .

في الحقيقة تعين تراكيب كل المواد بهذه الطريقة سواء كانت بلورية او تراكيب عشوائية .

وبما ان التركيب البلوري للمواد هو الشائع ويشكل أكثر المواد المستعملة في الصناعات التكنولوجية لذا سوف نخصص فصلا كاملا لفهم طبيعة التركيب البلوري ، لتسهيل مهمة دراسة هذه التراكيب باستعمال طريقة الحيود .

### 2.3 نبذة تاريخية

لقد عرفت المواد المتبلورة ، مثل المرمر والكوارتز منذ الاف السنين . وهناك لوحة لشكل بلوري في المتحف الصيني يعود تأريخها الى القرن الحادي عشر قبل الميلاد ، ناهيك عن تلك التحف البلورية واللوحات في المتحف الياباني حيث يرجع تأريخها الى القرن الثامن الميلادي على الاقل . في الحقيقة كانت كلمة بلورة مرادفة لأسم مادة الكوارتز حتى فترة متأخرة حيث اكتسبت الكلمة معنى أكثر شمولية . لقد كان يوحي الشكل المنتظم للبلورة ذات الترتيب الهندسي المعيني للفلاسفة والدارسين ، بأن البلورة مبنية من وحدة بناء أساسية ذات ترتيب هندسي يشبه البلورة الكبيرة نفسها ، وأن وحدة البناء هذه (Unit cell) قد تكررت نفسها بعدد لا نهائي من المرات وبشكل مرتب وبالاتجاهات الثلاثة في الحيز ، الى ان تكونت البلورة التي نشاهدها كجسم كبير قد يصل الى 1.2 متر طولا و 0.6 متر في السمك وذات وزنه خمسة أطنان كالتى اكتشفت في امريكا او كبلورات صغيرة جداً كالتى تستخدم في الحلي (الماس) ، وقد تكون هذه البلورات غاية في الصغر ، حيث لا يمكننا مشاهدتها بالعين المجردة الذي نريد قوله هو ان البلورات

تختلف في الحجم اختلافا شاسعا ، ولابد من الاشارة الى ان البلورات قد تكون موجودة بشكل طبيعي ( تبلورت في الطبيعة ) او قد تكون اصطناعية معمولة في المختبرات ، للاغراض العلمية والتكنولوجية .

الشكل (3-1) يبين الهيئة الخارجية للتركيب البلوري والتي يفترض ان تكون نفسها تمثل التركيب الداخلى ولأصغر خلية او وحدة بناء .

في الحقيقة يمكن ملاحظة ما تقدم مختبريا ، عند تربية البلورات . فلو افترضنا ان البلورة تنمو في ظروف قياسية معينة فاننا سوف نرى ان البذرة (Seed) البلورية تحافظ على شكلها وترتيبها الهندسي مهما كبر ونما حجمها وهذا يسند ملاحظة الاوائل ( دون استعمال الاجهزة العلمية الحديثة ) ، ان البلورة نمت من خلية اي وحدة بناء تشبه البلورة في هيئتها النهائية . ويمكن تقريب عملية نمو البلورة الى ذهن القارئ اكثر ، اذا فرضنا الخلية الاساسية او وحدة البناء هذه عبارة عن مكعب السكر وبأضافة هذه المكعبات الى بعضها البعض نحصل على مكعب هندسي ، قد يحتوي على الف مكعب صغير على سبيل المثال . ولا شك باننا نحصل على نفس بناء المكعب الصغير ولكن بأبعاد اكبر ويمكننا الحصول على نفس النتيجة لو بنينا جسماً وترتيب هندسي متماثل من وحدة بناء سداسية مثلا او اشكال هندسية اخرى .

نحن نعلم ان الخلية هذه ( وحدة البناء ) تتكون من الذرات والجزيئات ، لذلك نقول ان البلورة عبارة عن صفوف دورية وذات ثلاثة ابعاد من الذرات .

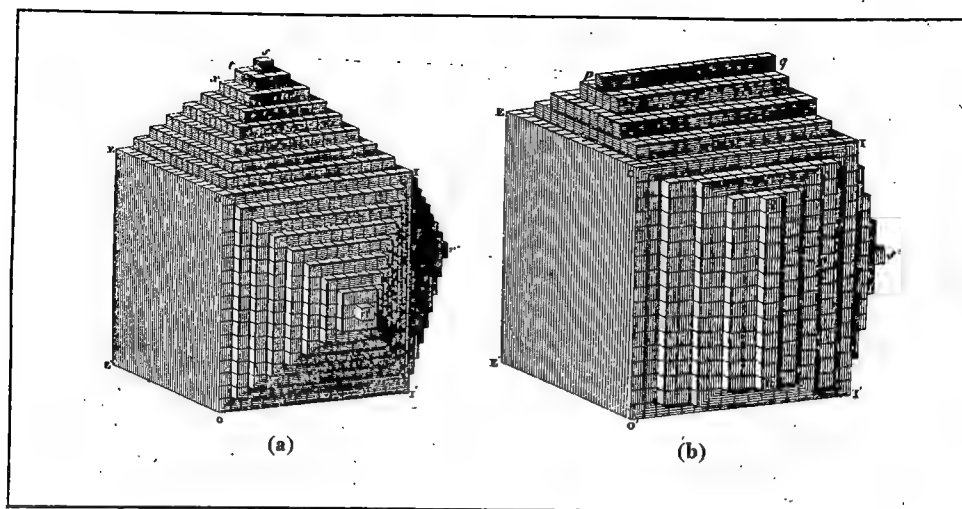
(Crystals are of three dimension periodic array of atoms).

لقد عني بعلم دراسة البلورات منذ القدم (crystallography) وخصوصا

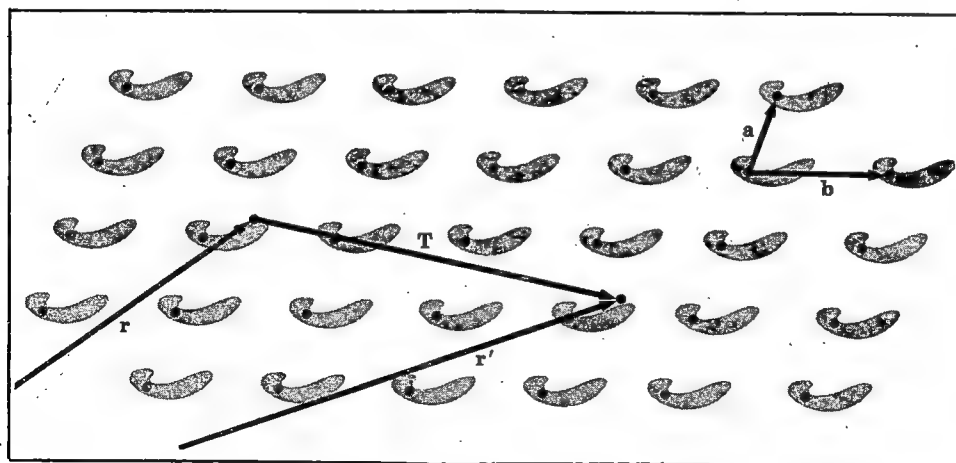
العاملين في حقل علم المعادن (Minerologist) ، وقد تمكن هؤلاء من

تطوير نظمه (system) ، حيث وصفوا سطوح البلورة بواسطة الأدلة (indeces) وهي عبارة عن أعداد صحيحة للحالات جميعها .

لقد بقيت المعلومات مقتصرة على دراسة الشكل العام للبلورة وترتيبها الهندسي فقط ، حتى نهاية الربع الاول من القرن التاسع عشر ، حين اقترح Seebar ، بأن الخلايا الاساسية في البناء البلوري هي اشكال كروية ، كما وضع قانونا عمليا للقوى البينية



شکل (3-1)



شکل (3-2)

للذرات (Interatomic forces) وأعتمد على نوعية التجاذب والتنافر لتفسير حالة استقرار الذرات المتشابهة في البناء البلوري .

يرجع تاريخ الانعطاف الكبير في علم البلورات الى سنة 1909 عندما بين العالم لاوى أمام الاكاديمية البافارية في ميونخ الصفات الموجية للأشعة السينية مثل التداخل والحيود وفي نفس الجلسة أين فردريك وتبنيك نتائج تجاربهم العملية لحيود الأشعة السينية عن البلورات . لقد ظهر وبشكل جميل جدا ، كيف ان أنماط الحيود هذه ، يمكن تفسيرها على أساس البناء الدوري (Periodic) لذرات البلورات ومنذ ذلك التاريخ بدأ علم وتكنيك جديد لدراسة المادة باستخدام حيود الأشعة السينية . في الحقيقة بدء علم فيزياء الحالة الصلبة الذي نعرفه اليوم وتطبيقاته الضخمة منذ اكتشاف تكنيك حيود الأشعة السينية في البلورات .

في نهاية هذه المقدمة التاريخية ، لا بد لنا ان نذكر ، ان اول دراسة مفصلة لتعين التركيب البلوري لكلوريد الصوديوم ( ملح الطعام ) والبوتاسيوم وبشكل تام باستخدام الأشعة السينية قد تمت من قبل W.L.Bragg سنة 1913 ، ونشرت في مجلة الجمعية الملكية في لندن في نفس العام .

### 3.3 الصفوف الدورية للذرات Periodic arrays of atoms

لا بد من تطوير لغة الرموز لدراسة علم البلورات ، حيث يكون من السهولة لمن يتقن هذه اللغة ان يكون بناء بلوريا من عدة رموز . ولا بد أن نعرف بصعوبة هذه اللغة حيث تحتاج الى المصادر الام والخبرة العلمية لاتقانها . لكننا سوف نحاول إعطاء بعض الأفكار المفيدة بصدد هذه اللغة والتي نعتقد انها كافية لوصف بناء بلوري بسيط .

البلورة المثالية : تتكون من تكرار منتظم لوحدة البناء الثلاثية الأبعاد وتكون على هيئة متوازي مستطيلات في بناء البلورات البسيطة مثل بلورات النحاس ، الذهب ، والفضة والمعادن القلوية .

تحتوي وحدة البناء على ذرة واحدة وقد تحوي على 100 ذرة في وحدة بناء بلورات المواد غير العضوية ومائة ألف أو أكثر في حالة بلورات المواد العضوية (مثل البروتين).

وقد تتكون تركيبة البلورات من ذرات العناصر المختلفة مثل NaCl أو قد تكون عبارة عن مجاميع لذرات عنصر واحد . ويمكن وصف تراكيب جميع البلورات بدلالة عامل واحد وهو الشبكة الدورية ( Periodic lattice ) سوف تتكرر كلمة الشبكة خلال هذا الفصل وفي جميع الفصول من هذا الكتاب حيث تكون الذرة أو مجاميع الذرات المنتصقة في نقاط الشبكة هذه وعلى هيئة متوازي مستطيلات ( Parallelepiped ) الذرة أو مجاميعها في نقاط الشبكة هذه تدعى بالأساس ( Basis ) حيث أن تكرار هذه الأسس في الحيز هي التي تكون البلورة . لنبدأ الآن في ترجمة ما ذكرناه أعلاه إلى لغة المصطلحات وبشكل دقيق أو تطوير اللغة التي طالما تكلمنا عنها من الكلمات المجردة إلى بعض المعادلات الرياضية ، بعبارة أدق التعبير عن الكلمات بالرموز .

#### 4-3 المتجهات الانتقالية في البلورة الشبكة

تعتبر البلورة المثالية تركيباً من ذرات مركبة في شبكة ( lattice ) وتعرف بثلاثة متجهات أساسية هي  $a, b, c$  وتتوفر في هذا الترتيب الشروط التالية :  
ان نمط ترتيب الذرات يظهر بنفس المظهر ودون تمييز اذا نظرنا إليه من نقطة خاصة مثل (  $r$  ) ومن نقطة عامة مثل (  $r'$  ) :

$$r' = r + n_1 \vec{a} + n_2 \vec{b} + n_3 \vec{c} \quad \dots\dots\dots (1-3)$$

حيث تمثل  $n_1, n_2, n_3$  أعداد صحيحة ( 1, 2, 3.... ) لتوضيح العلاقة بين (  $r$  ) و (  $r'$  ) وكذلك القصد من الأعداد  $n_1, n_2, n_3$  أنظر الشكل ( 2 - 3 )

يبين الشكل مقطع من بناء بلوري عام ذي بعدين لودققنا النظر في ترتيب هذه الشبكة لأستنتجنا ، ان الترتيب يظهر نفسه دون اختلاف لناظرين أحدهما من (  $r'$  ) ولآخر (  $r$  ) على أن نعبّر عن المتجه (  $T$  ) بمضاعفاته

وتكون مجموعة (  $T$  is integral multiple of the vectors  $a, b, c$  )  
(set) (  $r$  ) المعينة بالمعادلة

$$(1-3) \text{ مجموعة النقاط تعين الشبكة (lattice) . يظهر مما تقدم}$$

ان الشبكة يمكن تعريفها بأنها ترتيب منظم ودوري للنقاط في الحيز . لقد جئنا بمفهوم

الشبيكة لتيسير فهمنا للبناء البلوري ، في الحقيقة ان الشبيكة مصطلح رياضي مطلق بالنسبة لحقيقة البناء البلوري .

وتتكون البلورة عندما تتواجد الاسس (basis) بهيئة متشابهة (identical) في نقاط الشبيكة فقط . يمكننا ترجمة ماتقدم الى معادلة منطقية كالآتي :  
شبيكة + أسس = بناء بلوري

ويمكن تمثيل هذه المعادلة بالشكل التالي . شكل (3-3)

هناك نوعان من الشبيكة بدائية (Primitive) وغير بدائية . وتكون الشبيكة

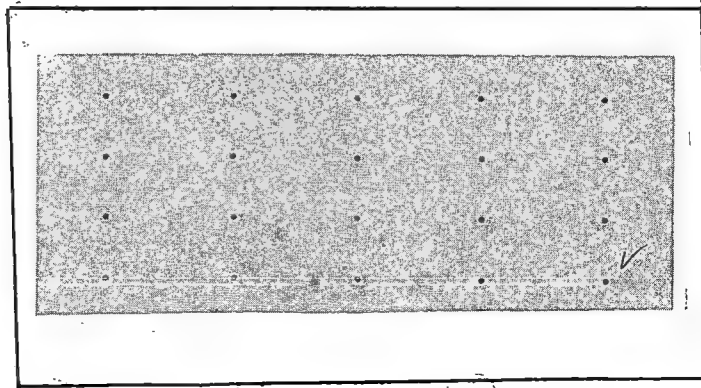
بدائية عندما تظهر هي والمتجهات بنفس الهيئـة والترتيب دون أي تغير لناظرين من (r)

و (r') . وبعبارة أخرى ، عندما تكون ترتيب ذرات الشبيكة مماثلة لناظرين من (r) و (r') .

قد يظهر للقارئ ، أن هذا التعريف تافه ، ولكن يضمن عدم وجود بناء ذي حجم أصغر من ذلك المتضمن في التعريف أعلاه . وان الشبيكة البدائية تتحقق دائما

بالمعادلة (1-3) وذلك بأختيار ملائم للاعداد (  $n_1, n_2, n_3$  )

أن كثافة نقاط الشبيكة البدائية أكبر من كثافة نقاط الشبيكة غير البدائية



شكل ( 3-3 )



ولأي بناء بلوري يكون عدد الذرات في أسس الشبكة البدائية أقل من تلك التي في الشبكة غير البدائية ، تستعمل المتجهات الانتقالية البدائية بكثرة (a, b, c) للتعبير أو لتعريف احداثيات البلورة ، مع أنه يمكن أستعمال متجهات انتقالية غير بدائية اذا كان ذلك أكثر ملائمة أو أبسط استعمالا . ومن المعروف ان المتجهات (a,b,c) تكون الأضلاع المتجاورة لمتوازي المستطيلات في الشبكة .

### 5-3 عملية نقل الشبكة Alattice translation operation

تعرف في بعض الأحيان عملية نقل البلورة ( Cryatal tranlation &peration ) بأنها ازاحة البلورة (الشبكة) موازية لنفسها ( Parallel to itself ) بواسطة متجة انتقالي في البلورة (T) .

$$T = n_1a + n_2b + n_3c \dots\dots\dots(2-3)$$

حيث يمكن ربط أي نقطتين في الشبكة بواسطة المتجه (T) كما في الشكل

### 6-3 عملية التناظر : Symmetry operation

عندما نحاول وصف بناء بلوري ، تبرز أسئلة عديدة يجب الاجابة عليها ومن هذه الأسئلة .

- ١) ماهي الشبكة ؟
  - ٢) ماهي المتجهات (a,b,c) التي ننوي أستخدامها لغرض وصف الشبكة ؟
  - ٣) ماهي الاسس ؟
  - ٤) ماهي عمليات التناظر التي لو أجريت على البلورة لما تغير وضعها الاصلي أو كما يقال تحمل البلورة الى ذاتها ؟
- ان علم التناظر البلوري يحتاج الى كتاب متخصص بحد ذاته ، لذلك لا يمكننا هنا الاذكر مختصر مقيد لعناصر التناظر .

يمكن تقسيم التناظر الممكن في البناء البلوري الى ثلاثة أنواع وهي :

أ - النقطة (Point)

ب - الخط (Line)

ج - المستوى (Plane)

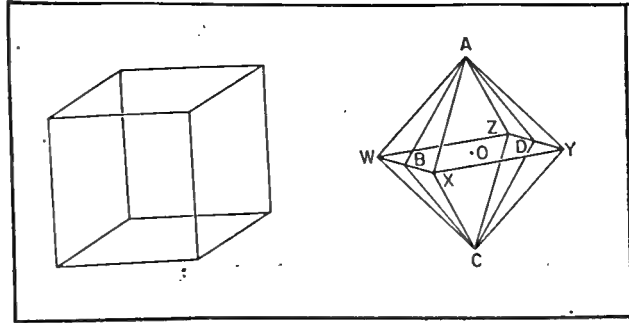
وتدعى هذه العناصر بمركز التناظر (Centre Symmetry) . محور التناظر (axis of Symmetry) ومستوى التناظر (Plane of Symmetry) على

التوالي .

يكون للبلورة مركز تناظر اذا كانت سطوحها الزوجية على طرفي البلورة توازي بعضها

البعض ، مثل المكعب والمجسم الثماني (Octahedron) الشكل التالي (4-3) بين أمثلة واضحة لمركز التناظر .

محور التناظر



شكل ( 4-3 )

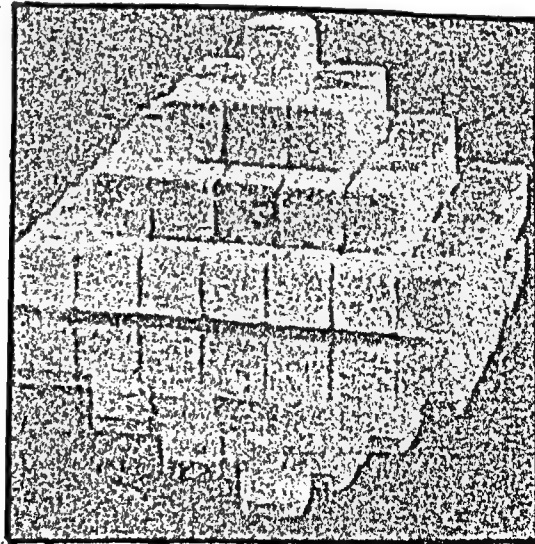
مستوى التناظر : هو المستوى او السطح الذي يقسم البلورة الى جزئين . . .  
متشابهين ، كل جزء يعتبر صورة مرآة للآخر كما في الشكل (3-5)  
في المجسم الثماني ، اي مستوى يمر خلال الرؤوس

يعتبر مستوى تناظر  $ABCD, WXYZ$  للجسم محور تناظر ، اذا مادور حول ذلك المحور بحيث لا يستجد أي تمييز عن الوضع الذي كان عليه قبل بدء الدوران . مثال ذلك لديك قلم سداسي الاوجه ، ولنفرض عدم وجود أي كتابه عليه ، فإذا مادور بزاوية قدرها  $60^\circ$  فأنتك لاتميز الوضع الجديد للقلم عما كان عليه قبل التدوير .

في هذه الحالة ، نقول هذا القلم سداسي التناظر (Six-fold Symmetry)  
كما للمجسم الثماني الاعتيادي والمكعب مراكز تناظر واحدة ، وثلاثة محاور (من ثلاثة أنواع) .

وتسعة مستويات تناظر ، وتعتبر هذه الكمية من عناصر التناظر أكبر كمية في كل أنواع التراكيب البلورية . من وصف عناصر التناظر أعلاه ، يظهر جليا ، أن مركز ومستوى ، التناظر يمتلكان خاصية منفردة (Unique) بينما يظهر محور الدوران وكأنه يملك عددا لانهايا من الاحتمالات ، هناك بعض العملات المعدنية الاجنبية تمتلك تناظرا سباعيا ، وهذا لا يحدث في البناء البلوري .

لماذا ؟  
الجواب على هذا السؤال في منتهي البساطة ، نقول أنه لا يمكن بناء متماسك من أجزاء سباعية التناظر، ولكي نتأكد من ذلك ، خذ قطعة من الورق السميك وأقطع

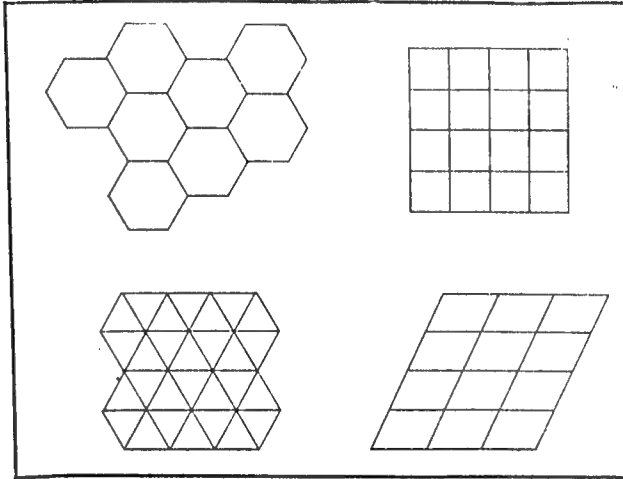


شكل (3-5)

منها عشرين قطعة سباعية وحاول أن ترصف هذه القطع بشكل متماسك مهما حاولت فأنت ستجد بعض الفراغات السبئية قد بقيت بينها ، ولا يمكنك الحصول على نمط متراس (Pack) الاشكال التي يمكن تراصها بشكل تام .

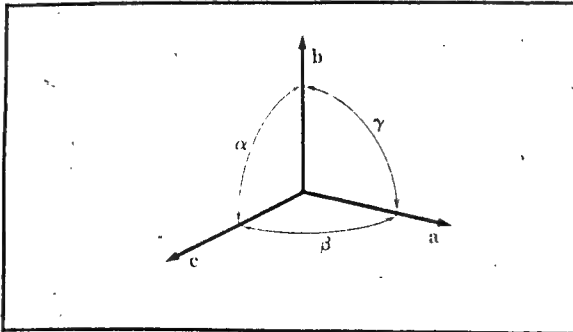
متوازي الاضلاع (ثنائية التناظر) ، مثلث متساوي الاضلاع (ثلاثي التناظر) ، مربع (رباعي التناظر) ، الشكل السداسي (hexagon) سداسي التناظر ، كما مبين في الشكل (6-3)

أن البناء البلوري بشكل عام لا يمتلك تناظرا محوريا غير ذلك المبين في الشكل (6-3) في الحقيقة يمكننا إضافة تناظر محور أحادي وهذا يعني غياب أو عدم وجود تناظر .



شكل 6-3

هناك علاقة وثيقة بين المتجهات  $a, b, c$  (محاور البلورة) والزوايا التي بينها  $\alpha, \beta, \gamma$  كما في الشكل (7-3) لهذه الزوايا أهمية كبيرة في موضوع تعيين البناء البلوري .



شكل (7-3)

وعلى هذا الاساس (علاقة محاور البلورة بالزوايا ) تم تقسيم أنواع البناء البلوري

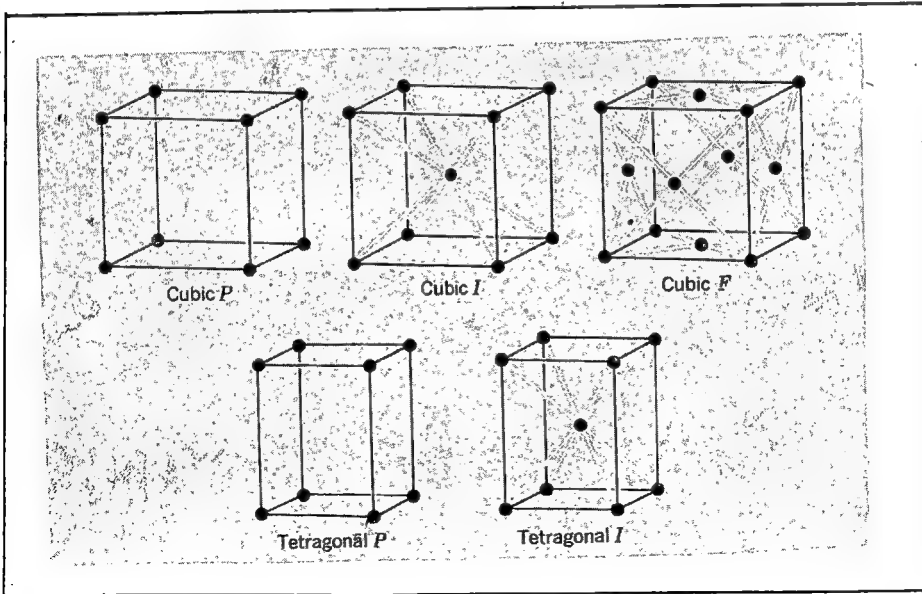
الى سبعة أنظمة كما هي مدرجه بالجدول أدناه :-

جدول 1-3

| الزوايا  | العوامل            | النظام                    |
|--|--------------------|---------------------------|
| $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$             | $a = b = c$        | Cubic مكعبة               |
| $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$             | $a = d = 90^\circ$ | tetragonal رباعية الاضلاع |
| $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$          | $a = b = c$        | Trigonal ثلاثية الاضلاع   |
| $\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120$        | $a = b = c$        | Hexagonal سداسية الاضلاع  |
| $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ, \beta = 90$ | $a = b = c$        | Orthorhombic معينة        |
| $\alpha = \gamma = 90^\circ, \beta = 90$         | $a = b = c$        | Monoclinic أحادية الميل   |
| $\alpha \neq \beta \neq \gamma$                  | $a = b = c$        | Triclinic ثلاثية الميل    |

نماذج من البلورات المصنعة تحت الانظمة في الجدول ( 1-3 ) مرسومة

بشكل تخطيطي في الشكل (8-3)



شكل (8-3)

ولننظر الى نظام المكعب (Cubic) ، حيث له أهمية خاصة . هنا لأن جميع المعادن تنتمي الى هذا النظام تقريبا ينقسم هذا النظام الى ثلاثة أقسام :

أ - مكعبة متمركزة الواجهات ، حيث نجد هناك أسساً متمركزة على الأوجه إضافة الى وجودها على الاركان . Face Centre Cubic

ب - مكعبة بسيطة : متمركزة وتتخذ الاسس مواقعها في أركان المكعب فقط Simple cubic (Sc)

ج - مكعبة متمركزة المركز ، حيث نجد هناك أسساً في مركز المكعب إضافة الى أركانه Body centred cubic, Bcc

سنحاول أدرج أهم الخواص الفيزيائية لنظام مكعب التبلور بأنواعه الثلاثة في الجدول التالي (2-3)

جدول 2-3

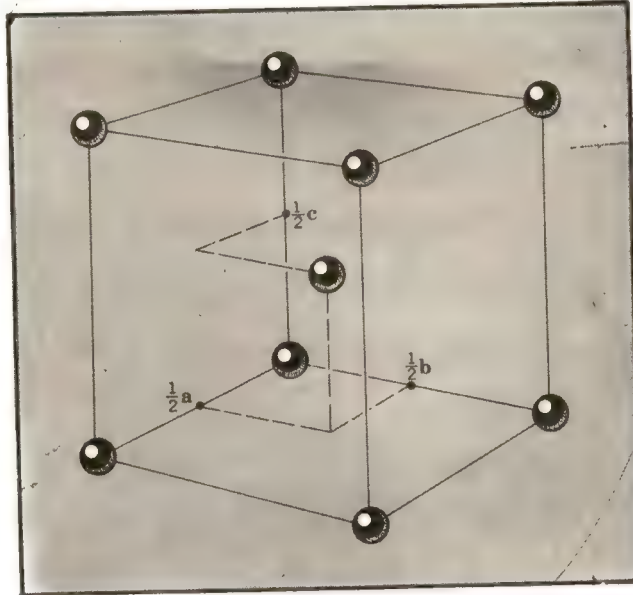
| الخواص العامة                                       | مكعب بسيط   | مكعب متمركز الجسم | مكعب متمركز الواجهه Fcc |
|---|-------------|-------------------|-------------------------|
| (١) حجم وحدة البناء الاعتيادية                      | $a^3$       | $a^3$             | $a^3$                   |
| (٢) عدد نقاط الشبكة في البناء                       | ١           | ١                 | ٤                       |
| (٣) حجم وحدة البناء البدائية                        | $a^3$       | $\frac{1}{2}a^3$  | $\frac{3}{4}a^3$        |
| (٤) عدد نقاط الشبكة في وحدة الحجم                   | ١           | ٢                 | ٤                       |
| (٥) عدد اقرب النقاط المجاورة الاولى (الجيران الأول) | $a^3$       | $a^3$             | $a^3$                   |
| (٦) المسافة لاقرب نقطة مجاورة                       | ٦           | ٨                 | ١٢                      |
| (٧) عدد النقاط المجاورة الثانية                     | $a$         | $\sqrt{3}a$       | $a$                     |
| (٨) المسافة للنقطة المجاورة الثانية                 | ١٢          | ٦                 | ٦                       |
|   | $a\sqrt{2}$ | $a$               | $a$                     |

والشكل (9-3) يبين وحدة بناء بدائية من نوع **Bcc** والشكل (10-3)

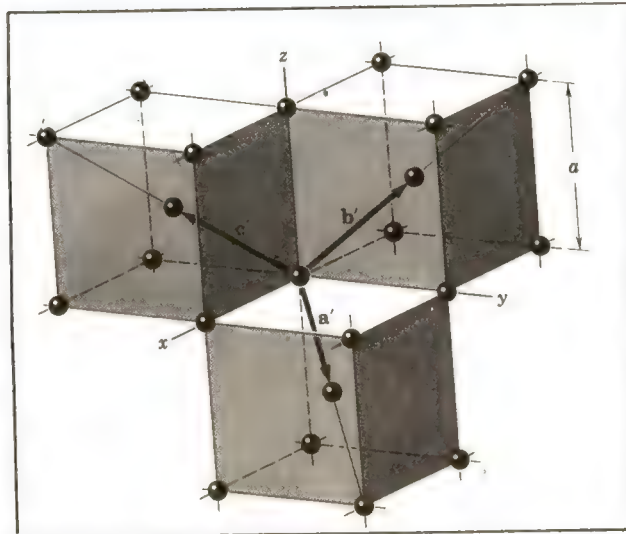
يوضح نفس وحدة البناء هذه اضافة الى المتجهات الناقله البدائية .

يمكن الاستنتاج من الشكل ، أن وحدة البناء البدائية **B.C.C** تحتوي على

نقطة شبكية واحدة ، بينما وحدة البناء الاعتيادية (Conventional unit cell) تحتوي على نقطتين أو أربع .



شكل (9-3)



شكل (10-3)

يمكن الحصول على وحدة البناء البدائية وذلك تكملة المنشور السداسي المنتظم .  
تكون وحدة البناء في النظام الثلاثي الأضلاع (Trigonal) عادة منشوراً معيناً  
(rhombhedron) منتظماً وكوحدة بناء بدائية .

علاقة البناء المعيني والمنشور السداسي يوضح في الشكل (11-3)

### Position and orientation of Planes in Crystals : موقع واتجاهات المستويات في البلورة

يمكن تعيين موقع واتجاه المستوى في البلورة بواسطة اية ثلاث نقاط فيها على  
شرط ان لا تكون على خط واحد (not collinear) . لو وقعت كل  
نقطة من هذه النقاط الثلاثة على محور البلورة ، لأمكننا تعيين موقع المستوى وذلك  
بتعيين أحداثياتها بدلالة ثوابت البلورة (a, b, c) كمثال على ذلك :  
نفرض ان النقاط والذرات التي تحدد المستوى ، لها الأحداثيات التالية :

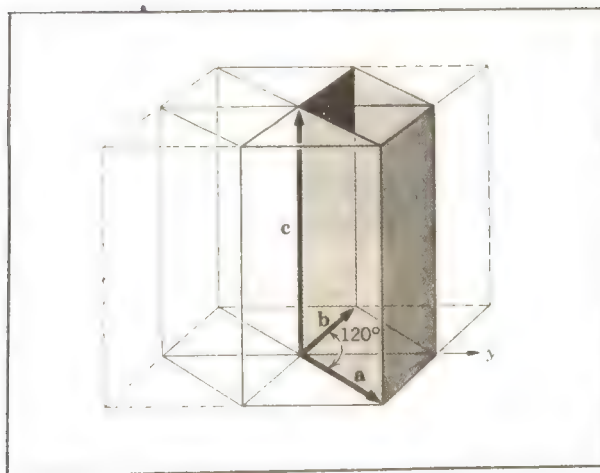
(0, 0, 2) و (0, 1, 0) و (4, 0, 0) نسبة لمتجه المحور  
من نقطة اصل اختيارية ، عند ذلك نستطيع تعيين أو التعبير عن المستوى بالارقام  
(4, 1, 2).

تستعمل عادة دلائل ميلر ( Miller indices ) في وصف بناء  
البلورة وتعيين اتجاه المستوى ، تشتق هذه الدلائل أوبالأحرى تعين للمستوى كما في  
الشكل (12-3) لغرض تبسيط الامر .

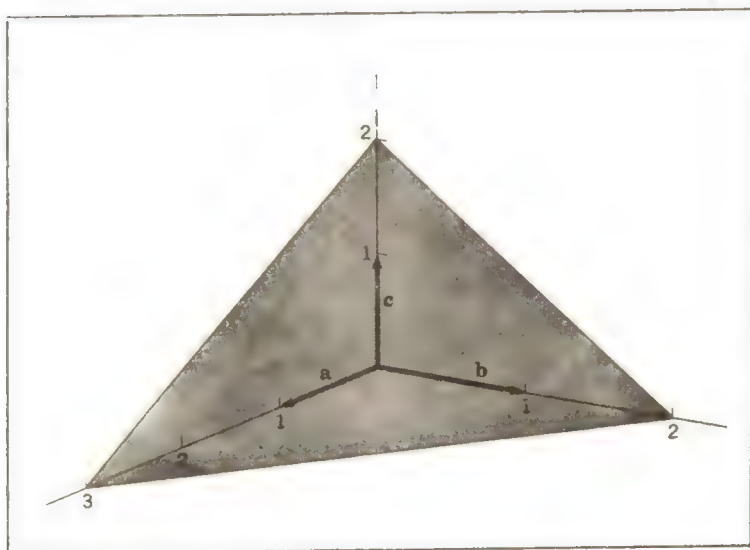
نوجز الطريقة بالخطوات التالية :

- ١ - ايجاد تقاطع المستوى مع أحداثيات البلورة بدلالة ثوابت البلورة (a, b, c)  
تسمى بمتجهات النقل وكذلك بأحداثيات البلورة وقيمها المطلقة هي ثوابت  
البلورة أو الشبكة ، حيث تستعمل كلمة البلورة والشبكة للتعبير عن نفس المفهوم .  
وقد تكون الأحداثيات بدائية أوغير بدائية .





شکل 11-3



شکل 12-3

٢ - نأخذ مقلوب هذه الأرقام ونختزلها الى أصغر ثلاثة أرقام ، بعبارة أخرى اذا ظهرت النتيجة . . .

(644) فنأخذ (322) ونكتبها بين قوسين ممثلة لدلائل ميلر (hkl)  
 مثال : للمستوى الذي يتقاطع مع الاحداثيات في 1, 2, 4 تأخذ المقلوب  
 $\frac{1}{4} \quad \frac{1}{1} \quad \frac{1}{2}$   
 حيث تكون دلائل ميلر هي (142) أما اذا كان التقاطع في اللانهاية (متوازي)  
 فيكون دليل ميلر عند ذلك الانحدار يساوي صفراً :  
 لتوضيح كيفية تعيين دلائل ميلر المستويات المختلفة في البلورة ، أنظر الشكل

(13-3)

وقد تشير دلائل ميلر (hkl) الى مستوى واحد أو الى مجموعة من المستويات المتوازية . اذا تقاطع المستوى مع احداثيات في الجهة السالبة فإن الدلائل أو الدليل يكون سالبا (neg) ويوضح ذلك بوضع خط صغير الرقم ، مثال (h k l̄) ماذلك يعني ان k تقع في الجزء السالب .  
 ولأوجه وحدة البناء ، المكعب ، دلائل ميلر التالية .

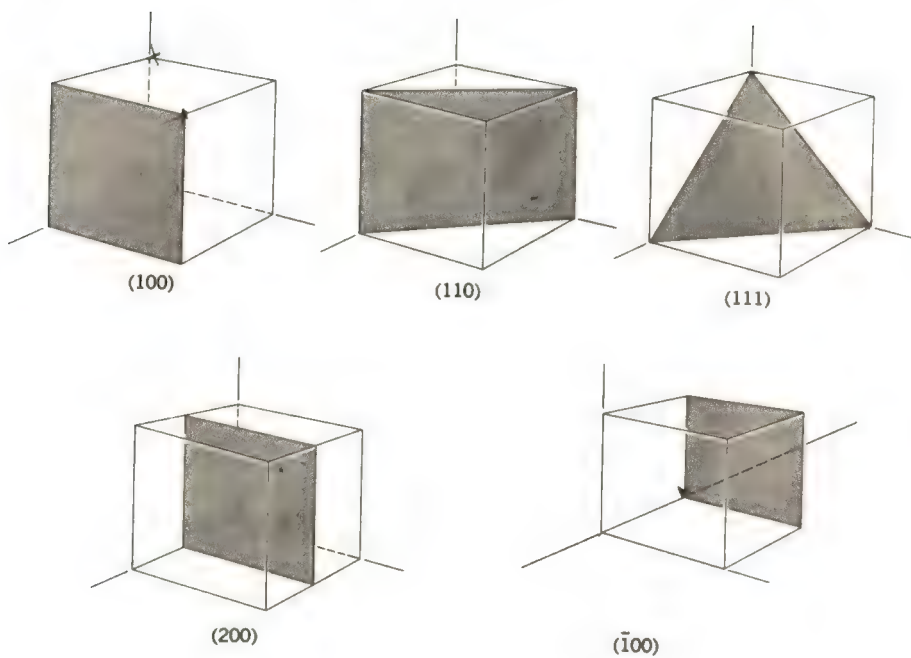
(001̄) و (010̄) و (100̄) و (001) و (010) و (100)

للأختصار تكتب هذه المجموعة بهيئة [100] حيث ان هذه المجموعة متكافئة بالنظر في نظام المكعب تعني دائماً بالمستويات (100) ، أما المستوى (200) فيعني ذلك أنه مواز للمستوى (100) ولكن يقطع الاحداثي عند  $\frac{1}{2}a$

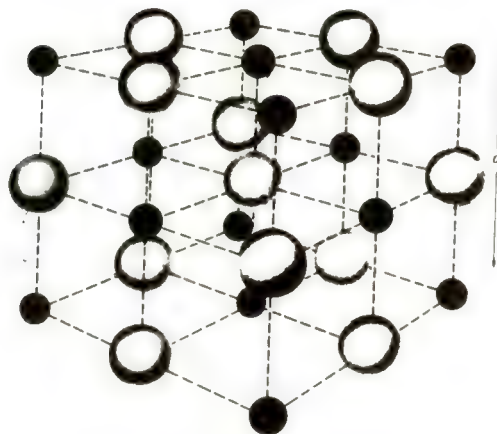
دلائل الاتجاه في البلورة (The indices of direction in a crystal)  
 يعبر عنها بمجموعة من الأعداد الكاملة (أصغراً ما يمكن) لها نفس النسبة كمركبات للمتجه (vector) في الاتجاه المطلوب تدل على المتجهات المحورية . والأعداد الكاملة هذه تكتب عادة بين قوسين مربعين وبالشكل التالي [hkl] وفي البلورة ذات التركيب المكعب ، يكون اتجاه المحور x هو [100] واتجاه المحور y

هو [010]

نحن نعني بصورة عامة بالاتجاهات العامة (hkl) في المكعب الاتجاه (hk l̄) يكون عموديا على المستوى (hk l̄) ، بعبارة أخرى لها نفس الدلائل . ولكن هذا ليس صحيحاً في البناء البلوري ذي الأنظمة الأخرى (غير المكعبة) .



شکل (13-3)



شکل (14-3)

### Position in the unitcell

### 8-3 الموقع داخل وحدة البناء

يتم تعيين موقع النقاط داخل وحدة البناء (الخلية) (Unit cell) بدلالة الاحداثيات ، حيث يكون كل احداثي جزءاً من أطوال احرف المحاور

وتكون نقطة أصل الاحداثيات في وحدة البناء (face centered) ركن من أركانها لذلك تكون احداثيات النقطة المركزية في البناء في الشكل (9-3)  $\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}$  هي واحداثيات النقاط مراكز أوجه وحدة البناء

$$\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0, 0, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0, \frac{1}{2}$$

واحدائيات النقاط في مراكز وحدة البناء (bcc) هي  $\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}$  بدلالة أطوال محاور وحدة البناء .

### 8.3 بعض التراكيب البلورية البسيطة

يوضح الشكل (14-3) تركيب بلورة كلوريد الصوديوم (NaCl) حيث يكون نظامها البلوري هو fcc فيها الأسس (الذرات) هي عنصر Na و Cl والمسافة بينهما هي نصف القطر الجسمي لوحدة البناء (وحدة البناء المكعب) . هناك أربع جزيئات NaCl في كل مكعب ، وأحداثيات الذرات في وحدة البناء هي كالآتي .

$$\text{Na} : 000, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0, \frac{1}{2}, 0, \frac{1}{2}, 0, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0$$

$$\text{Cl} : \frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 00, \frac{1}{2}, 0, \frac{1}{2}, 0, \frac{1}{2}, 00$$

هناك ست ذرات من cl تكون مجاورة (أقرب جيران) لكل ذرة Na والعكس صحيح

هناك عدة مواد بلورية لها نفس الترتيب البلوري لكلوريد الصوديوم ومنها على سبيل المثال

| Crystal | البلورة |
|---------|---------|
| LiH     | الحرف a |
| NaCl    | 4.08 Å° |
| KCl     | 5.63    |
| Pbs     | 6.29    |
| AgBr    | 5.92    |
| MgO     | 5.77    |
| MnO     | 4.2     |
| Uo      | 4.4     |
|         | 4.92    |

مسابقات الأولمبي

### 9-3 الكثافة الكتلية للبلورات والمسافات البينية للذرات :

لاشك ان الكثافة الكلية  $\rho$  التي نعرفها في الاستعمالات اليومية ذات صلة بكثل الذرات المكونة للبلورة .

كما تعتمد الكثافة الكتلية أيضاً على درجة رص (packe) الذرات في التركيب البلوري فكلما كان الرص متصلاً (close packed) كانت الكثافة أكبر .  
ولنبداً بالبناء البلوري ذي نظام المكعب البسيط (simple cubic system) لنأخذ وحده بناء مكعب طول حرفه (a) «فتكون المسافات البينية للمستويات الذرية»  
(d) مساوية (a) في هذه الحالة .  
 $a = d$

ويكون عدد الذرات في وحدة البناء بهذا النظام البسيط هو ذرة واحدة (الذرات الأخرى تعود لوحداث البناء المجاورة) .

لنفرض كتلة الذرة (m)

وبذلك تكون (3-3)  $m = M/No$  .....

حيث تمثل M الوزن الجزيئي

و عدد أفوكادرو (No)

الحجم المصاحب لكل ذرة  $a^3$

تكون الكثافة  $\rho = M / N_0 a^3$

لقد افترضنا هنا ، ان الذرات ، كرات صلبة ومتراصة ، والمسافة بين مركزي ذرتين هي قطر الذرة الواحدة .

ولنأخذ مثالا عمليا : وليكن في النظام (bcc) . من الجدول رقم (3-2) حرف وحدة البناء (a) والمسافة لأقرب جيران هي المسافة في ركن المكعب الى مركز المكعب أي :  $d = a\sqrt{3}/2$

وحجم المكعب هو  $(a^3)$  .

وعدد الذرات في وحدة البناء هي إثنان ، لذلك يكون الحجم المصاحب لهاتين الذرتين هو  $\frac{a^3}{2}$  فتكون الكثافة هي :-

$$\rho = \frac{2M}{N_0 a^3} \quad \text{-----} \quad (4-3)$$

لنأخذ بلورة الصوديوم (Na) حيث ان كثافتها هي 0.97 غم / سم<sup>3</sup> و  $M = 23$  بذلك يكون طول الحرف :

$$a = (2M / N_0 \rho)^{1/3} = \left( \frac{2 \times 23}{6.02 \times 10^{23} \times 0.97} \right)^{1/3} = 4.28 \text{ \AA}$$

لاحظ كيف استطعنا حساب حرف وحدة البناء (وهي كمية صغيرة جدا) بدلالة كمية عيانية وهي الكثافة التي تقاس بسهولة في المختبر .

ومن ذلك نستطيع حساب المسافات البينية للمستويات الذرية أيضا :

$$d = a\sqrt{3}/2 = 3.71 \text{ \AA}$$

وباستخدام هذه الطريقة نستطيع حساب قيم تلك الثوابت لكثير من البلورات ، كما يمكننا العكس ، وهو حساب الثوابت باستخدام تكتيك الحيود الذي سنشرحه ومن ثم استنتاج الكثافة بدقة كبيرة .

### 9-3 التبلور : crystalization

لقد وضعت نظريات عديدة لتفسير عملية التبلور أو تكوين البلورات ، مثلاً تتكون بلورة الماس (Diamond) نتيجة لتبلور سائل الكربون المنصهر تحت ظروف من درجة الحرارة والضغط العاليين . بصورة عامه ، يمكننا تنقية البلورات مختبرياً وذلك بأذابة المواد المطلوب تبلورها بمذيب ثم السماح للمذيب بالتبخير بطيء وبذلك نحصل على بلورات تلك المواد . تتم عملية التبلور في هذه الطريقة ، عند وصول تركيز المادة الى فوق الأشباع (أو الأشباع المفرط) ، وعند توفر نواة صلبة في السائل تتبلور المادة حولها غاطسة الى القعر ، ثم تكبر مع الزمن وذلك بأضافة وحدات بناء جديدة في الاتجاهات الثلاثة .

إذا اردت ان تنمي بلورة جيدة وخالية من العيوب نسبياً ، فتتبع الطريقة الآتية : أعمل محلولاً ذا تركيز مفرط الأشباع في أناء كبير نسبياً ، حاول أبعاد الاناء عن مصادر الاهتزازات ، ثم علق جسيماً صغيراً (جنيناً) ، سوف نلاحظ نمو البلورة مع الزمن حول ذلك الجنين وإذا كان التبخر بطيئاً سوف نحصل على بلورة كبيرة .

الطريقة المتبعة في مختبرات البحوث لتنمية البلورات الاحادية هي :

١ - طريقة تبخير المادة في الفراغ (vacuum) وعلى سطح بلوري آخر وبشكل

بطيء وحسب نوع مادة الأساس (substrate) بهذه الطريقة نحصل على

بلورة لها نفس التركيب البلوري للسطح المنجز عليه تدعى هذه بطريقة التنبيط (eptixial).

حيث يمكننا تنمية بلورات لكافة المواد تقريبا بهذه الطريقة . لا بد ان نذكر ان

البلورات التي تربي بهذه الطريقة تكون صغيرة ورقيفة جداً وغالبا ماتستخدم لاغراض

البحث العلمي بواسطة حيود الأشعة السينية أو حيود الالكترونات وكذلك تستخدم العينات

البحث العلمي بواسطة حيود الأشعة السينية أو حيود الالكترونات وكذلك تستخدم

عينات للفحوصات البنائية باستخدام المجهر الالكتروني .

٢ - باستخدام جهاز خاص (جهاز تنمية البلورات) . حيث يبدأ بجنين يوضع في محيط متحكم فيه من ناحيه درجة الحرارة والضغط وتركيز المحلول وغير ذلك ، بهذه الطريقة يمكننا الحصول على بلورات كبيرة جدا ، تستخدم للأغراض الصناعية .

يتم الحصول على التراكيب البلورية لكثير من المواد الصناعية المستعمله في حياتنا اليومية من منصهر المواد . فعند تبريد منصهر المواد تبريدا بطيئا تتم عملية التبلور ، كما هو الحال في صناعة الصلب والالمنيوم مثلا ولكن لاتكون هذه المواد أحادية البلورة ، وانما عبارة عن تركيب بلوري متعدد ( Polycrystalline )

فإذا نظرنا الى قطعة من الالمنيوم بعد غمسها في حامض ، نستطيع رؤية القطعة مكونة في الحقيقة من أجزاء صغيرة من الحبيبات (grains) بينهما حدود واضحة تدعى بحدود الحبيبات ( grain boundary ) .

ان لحجم هذه الحبيبات وتركيب الحدود اهمية صناعية كبيرة ، حيث تعتمد عليها الخواص الميكانيكية والفيزيائية للمواد الى درجة كبيرة . لغرض التوسع في هذا الموضوع ، أنظر الى مصدر في علم فيزياء المعادن (Physical metallurgy)

متاح للتحميل ضمن مجموعة كبيرة من المطبوعات من صفحة

## مكتبتى الخاصة

على موقع ارشيف الانترنت

## الرباط

[https://archive.org/details/@hassan\\_ibrahem](https://archive.org/details/@hassan_ibrahem)

ibrahem



هنا يوسف اللواتي

متاح للتحميل ضمن مجموعة كبيرة من المطبوعات من صفحة

مكتبتي الخاصة

على موقع ارشيف الانترنت

الرابط

[https://archive.org/details/@hassan\\_ibraheim](https://archive.org/details/@hassan_ibraheim)

## الفصل الرابع

---



## 1.4 اتجاهات الحزم المخرجة The directions of diffracted beams

مقدمة :

بعد مناقشتنا لخواص الأشعة السينية الفيزيائية وكذلك التركيب البنائي للبلورات سنحاول الآن الربط بين الاثنين ومن خلالهما نحاول مناقشة ظاهرة حيود الأشعة السينية

وذلك للحصول على معلومات غاية في الأهمية عن تراكيب المواد ، سواء ما يتعلق بفيزياء الحالة الصلبة أو ما يتعلق بفيزياء المعادن ( physical metallurgy ) . كما ذكرنا سابقا ، ان العالم الألماني فون لاوى ، هو أول من وضع أسس علم حيود الأشعة السينية في الاتجاه الذي نلمسه اليوم . لقد طور لاوى الموضوع بالشكل التالي :

بما ان الضوء الاعتيادي يحد عند مروره خلال شبكة ذات فتحات صغيرة بحيث يمكن مقارنتها بطول موجة الضوء ويمكن ملاحظة هذا الحيود على شاشة كنقاط او كخطوط تعتمد على التركيب البنائي لنموذج الموضوع في مسار الضوء .

أن الأشعة السينية موجات كهرومغناطيسية ذات طول موجة في حدود  $10^{-10}$  . كما ان لدينا البلورة ذات البناء البلوري الذي هو عبارة عن نمط ذي ترتيب هندسي ويكرر نفسه في الخيز ومسافات بينية قريبة من طول موجة الأشعة السينية .

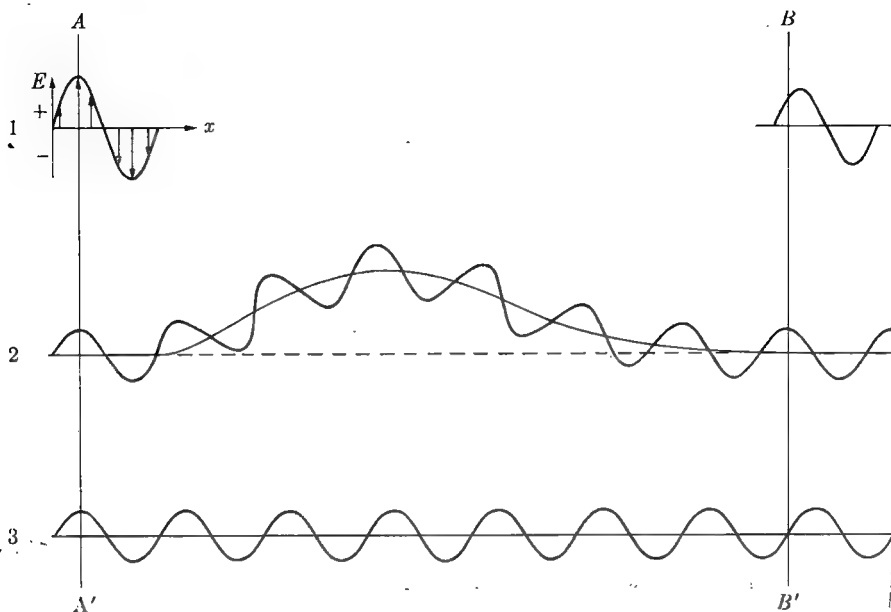
فعند مرور الأشعة السينية في بلورة ذات سمك مناسب نحصل على ظاهرة الحيود هذا ما حدث فعلا وعمل تطورا في علم حيود الأشعة السينية حتى أصبحت تطبق في مختبرات الباحثين وفي مختلف المجالات .

## 2.4 حيود الأشعة السينية : x-ray Diffraction

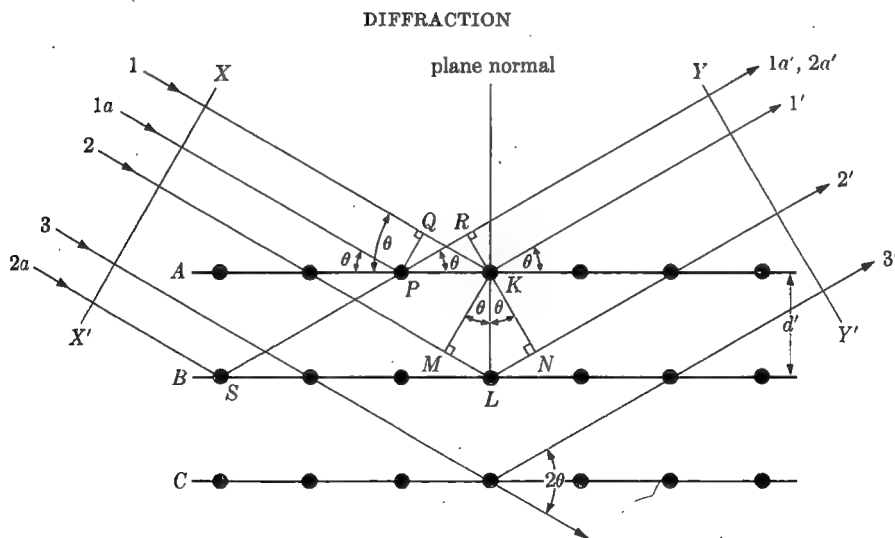
في الحقيقة عندما نريد التحدث عن الحيود ، يظهر وكأننا نعني التداخل فمن الصعب في هذه الحالة التفريق بين الاثنين ، لذلك نقول ، يحدث الحيود عندما يكون هناك فرق بين طوري (phases) موجتين أو أكثر وينتشران في نفس الاتجاه تقريباً . ولايضاح الفرق بين طوري الموجتين لنعتبر حزمة الأشعة السينية رقم (1) في الشكل ( 1-4 ) المنتشرة من اليسار الى اليمين ، لتبسيط الامر ، سوف نعتبر هذه الحزمة أو الموجه مستوية ومستقطبة ( يمكننا رسم متجه المجال الكهربائي للموجه  $E$  في مستوى واحد ) ..

ولنتخيل ان هذه الحزمة تتكون في الحقيقة من موجتين ( 3 ) و ( 2 ) كل واحدة من هاتين الموجتين لها نصف سعة (Amplitude) الموجه الاصلية ( 1 ) . ولهما نفس الطور على جهة الموجه  $AA'$  ( wave front ) أي بعبارة أخرى ان مجاليهما الكهربائيين ( متجهان ) متساويان في القيمة والاتجاه في أي لحظة عند النقط المقاسة باتجاه انتشار الموجه in phase . لنفرض الان تجربة خيالية والتي يكون الاشعاع ( 3 ) منتشرأ على خط مستقيم ، بينما الأشعة ( 2 ) تسير على منحنى قبل ان تلتقي بالأشعاع ( 3 ) . وبعد ان أستاذت الموجتان مسيرهما في الاتجاه الأصلي ، لتفحص الوضع على جبهه الموجه  $BB'$  لسعة الاشعاع ( 2 ) قيمة عظمي (maximum) على هذه الجبهة . بينما الموجه سعتها ( 3 ) تصل الى الصفر ، لذلك فإن الموجه ( 2 ) و ( 3 ) يوجد بينهما فرق في الطور (out of phase)

أما اذا أضفنا الموجتين لبعضهما نجد ان الموجه (1) ستكون لها السعة المبينة في أعلى الشكل (1-4) الجهة اليمنى .



شکل (1-4)



شکل (2-4)

ولو افترضنا ان قيمة سعة الموجه (2) و (3) هي وحدة واحدة (Unity) عند ذلك تكون قيمة سعة الموجه (1) في الجهة اليسرى هي (2) بينما تكون قيمة سعة الموجه (1) في الجهة اليمنى تساوي 1.4 اذا افترضنا ان المتجه  $E$  يتغير مع  $x$  جييا لذا يمكن أن نستنتج مايلي :

١ - الفرق في طول مسارات (المسافات) المقطوعة يؤدي الى فرق في الطور

٢ - فرق الأطوار يؤدي الى تغيير في سعة الموجه .

كلما كان الفرق كبيرا في طول المسارات المقطوعة كان فرق الطور كبيرا . حيث ان طول المسار يقاس بوحدات طول الموجه ، كذلك فرق الطور يقاس بوحدات طول الموجه أيضا . فلو كان طول مسار الموجه (2) المبين في الشكل (4-1) أطول مما هو يظهر بربع طول الموجه فأن فرق الطور يساوي نصف طول الموجه لذا يكون الشعاعين (2,3) في طورين مختلفين على جبهة الموجه  $BB$  الذي يلغي احدهما الآخر (annul each other) . والتفسير الفيزياوي لذلك هو كالاتي :

في الوضع الأخير ، يكون متجه المجال الكهربائي لكل اشعاع أما صفرا أو في اتجاهين متضادين  $180^\circ$  أما اذا كان طول مسار الموجه (2) المتغير بثلاثة أرباع طول الموجه ، لتسبب ذلك في ظهور الموجتين (2,3) وكأن لهما نفس الطور ، وبذلك تصبح متجه سعة الموجه (1) في الجهة العليا اليمنى وحدتين اثنتين (2) مثل الموجه الاصلية بالضبط نستنتج من كل ذلك حقيقة هامة وهي : تمتلك الموجتان نفس الطور اذا كان فرق الطور بينهما صفرا أو أي عدد كامل من طول الموجه ( $n\lambda$ )

حيث ان  $n = 1, 2, 3, \dots$

وان  $\lambda$  تمثل طول الموجه

الفروق في مسارات حزم الاشعة الساقطة تظهر بصورة طبيعية عندما تحاد هذه الحزم بواسطة البلورة كما في الشكل (4-3) يبين مقطعا من بلورة ، حيث الذرات مرتبة من مستويات متوازية مثل A, B, C, D الخ وهذه الذرات تكون على بعد (d) من بعضها وهي المسافة العمودية بين المستويات ، وكما ذكرنا سابقا تدعى (d) بالمسافة البينية (interatomic distance)

لنفرض ان حزمة الأشعة السينية (متوازية واحادية الموجه ) ذات طول موجي (  $\lambda$  ) سقطت على بلورة بزاوية مقدراها  $\theta$  (زاوية براك) ، كما هو واضح في الشكل ، و  $\theta$  تقاس بين الحزمة المسلطة أو إحدى المستويات الذرية ، والان نرغب في معرفة فيما اذا كانت الموجه المسلطة ستحد من البلورة وتحت أية شروط .

ويمكن تعريف الحزمة المحادة (Diffracted beam) بأنها تتكون من عدد كبير من الموجات المستطارة والتي لها خاصية تقوية بعضها لبعض . لذلك يعتبر الحيود ظاهرة أستطارة حيث تستطير الاشعة الساقطة أو المسلطة من الذرات وفي كل الاتجاهات . في اتجاه معين تكون جميع الموجات المستطيرة في طور واحد ، لذلك تقوى هذه الموجات بعضها البعض ، حيث تنتج الحزمة المحادة .

وعند توفر الشروط اللازمة في الشكل (3-4) ، تكون الحزم المحادة فقط تنعكس بزاوية مقدراها (  $\theta$  ) والتي تساوي أو هي عينها زاوية السقوط .

يمكننا برهنة ذلك بسهولة ، لمستوى واحد اولا ، ومن ثم لجميع المستويات الذرية التي تكون البلورة . لنعتبر الاشعة 1 و 1a في الحزمة الساقطة أو المسلطة على البلورة هذان الشعاعان يصطدمان بالذرتين k و p في المستوى الاول للذرات حيث تستطير الأشعتان وفي جميع الاتجاهات ونستطيع ان نرى أن الأستطارة في الاتجاهين 1 و 1a مساوية لبعضهما ( في نفس الطور) ، ويحدث ذلك ، لان فرق المسار لهاتين الاشعتين بين جبهتي الموجه XX و YY هو :

$$QK - PR = PK \cos \theta - PK \cos \theta = 0 \quad (1-4)$$

وينفس الطريقة تكون بقية الاشعاعات المستطيرة من الذرات كافة في المستوى الاول وفي اتجاه موازي للاتجاه 1 وفي طور واحد ، لذلك تضاف الأشعة المستطارة من الذرات الى الحزمة المحادة ، لجميع المستويات الأخرى منفردة يبقى الان ان ترى ماهو الشرط الذي بموجبه تكون الاشعاعات المستطيرة (Scattered) من الذرات في مستويات مختلفة مقوية لبعضها البعض (Reinforcement)

الاشعة (1) و (2) قد أستطارتا وعلى سبيل المثال من الذرتين K و L على التوالي ، فرق المسار للشعاغين  $1kl$  و  $2l2$  هو :

$$ML + LN = d \sin \theta + d \sin \theta$$

وهذا الفرق في المسار هو أيضا نفسه للأشعة المستطيرة من K,P, L,S وفي الاتجاهات المبيّنة .

الشعاعان المستطيران  $1$  و  $2$  سوف تكونان في نفس الطور بشكل عام على شرط على شرط ان يكون فرق المسار بينهما يساوي طول موجه واحدة ، أو عدداً كاملاً  $(n\lambda)$  من أطوال الموجه ، بعبارة أخرى عندما يكون :

$$n\lambda = 2d \sin \theta \dots\dots\dots (2-4)$$

تم اشتقاق المعادلة (2-4) من قبل العالم براك (Bragg) وقد سميت بأسمه . والمعادلة أعلاه تعتبر شرطاً من شروط حدوث الحيود وتمثل «  $n$  » مرتبة الحيود ( $n = 1, 2, 3, 4, \dots$ ) وهذا يعني أنه لطول موجه معينة ولقيمة معينة من  $(d)$  هنالك قيم متعددة لزوايا السقوط  $\theta_1$  ,  $\theta_2$  ,  $\theta_3$  تحقق الحيود ، كل قيمة من هذه الزوايا تقابل قيمة من  $(n)$  . لتوضيح ماتقدم بشكل أكثر ، نعود الى الشكل (1-4) مرة ثانية ، عندما تكون قيمة  $(n = 1)$  ، الحيود الذي يحدث يكون من المرتبة الاولى (first order) ، وتكون قيمة الاختلاف بين طول المسار للشعاعين  $1$  و  $2$  مساويا لطول موجه واحدة  $(\lambda)$  ونرى الشعاعين  $1$  و  $3$  مساويا لطول موجتين وبين  $1$  و  $4$  مساويا لثلاثة أطوال ..... وهكذا .

بهذه الطريقة نستطيع الحصول على نمط حيود الأشعة السينية من اية بلورة

### 3-4 قانون براك : The Bragg law

هناك حقيقتان هندسيتان يجب تذكرهما بشكل عام دائما وهما :

١ - الأشعة الساقطة والعمود المقام على المستويات الذرية والحزمة المحادة تقع جميعها في مستوى واحد (في الحقيقة هناك عدة نقاط تتشابه بها حيود الأشعة السينية وانعكاس الضوء من مرآة ، ولكن هناك عدة نقاط اختلاف جوهريه أيضا ، لأمجال للغور فيها في هذا الحيز)

٢ - الزاوية بين الحزمة المحادة (diffracted beams) والحزمة النافذة (غير

المحادة) تساوي ،  $2\theta$  ، دائما ، وتدعى بزاوية الحيود.



تقاس زاوية الحيود (2θ) عادة من النتائج العملية وليس بشكل مباشر نكرر هنا ماذكرنا سابقا وهو : عند حدوث ظاهرة الحيود يجب ان تكون المسافات الدورية مقارنة

مع طول الموجة (in the Same order of magnitude) لحسن الحظ ، ان المسافات البينية للمستويات الذرية d وفي البناء البلوري لمعظم المعادن مقارنة من حيث الكمية مع طول موجة الأشعة السينية ، وهذا الشرط واضح في قانون براك ، لان قيمة (Sin 2θ) لا يمكن ان تزيد على الواحد أي ان :

$$\frac{n\lambda}{2d} = \sin \theta \leq 1$$

لذلك فإن قيمة nλ يجب ان تكون  $\lambda < 2d$  ، في حالة الحيود ، تكون قيمة « n » تساوي واحدا على الاقل (حيث ان  $n = 0$  تقابل الحزمة غير المحادة) . وعليه فإن شرط الحيود لابة زاوية مرئية هو ان تكون  $2d \cdot$  اما قيمة d وفي كثير من البلورات هي في حدود  $3\text{Å}$  أو أقل (هناك استثناءات في البلورات العضوية) ، وعليه فإن قيمة λ تكون دائما أقل من  $5\text{Å}$  . وعلى هذا فليس بالامكان حدوث حيود من بلورة باستخدام الاشعة فوق البنفسجية ( $\lambda = 500\text{Å}$ ) والسبب هو أن نمط الحيود يكون غير مرئي على الإطلاق .

يمكننا إعادة كتابة قانون براك ليكون على الشكل التالي :

$$\lambda = \frac{2d}{n} \sin \theta$$

وبما ان قيمة n ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ) تشير الى درجة الحيود ، وحيث ان دلائل ميلر (hkl) تشير الى درجة الحيود أيضا وكما ذكرنا ذلك في الفصول السابقة . لذا

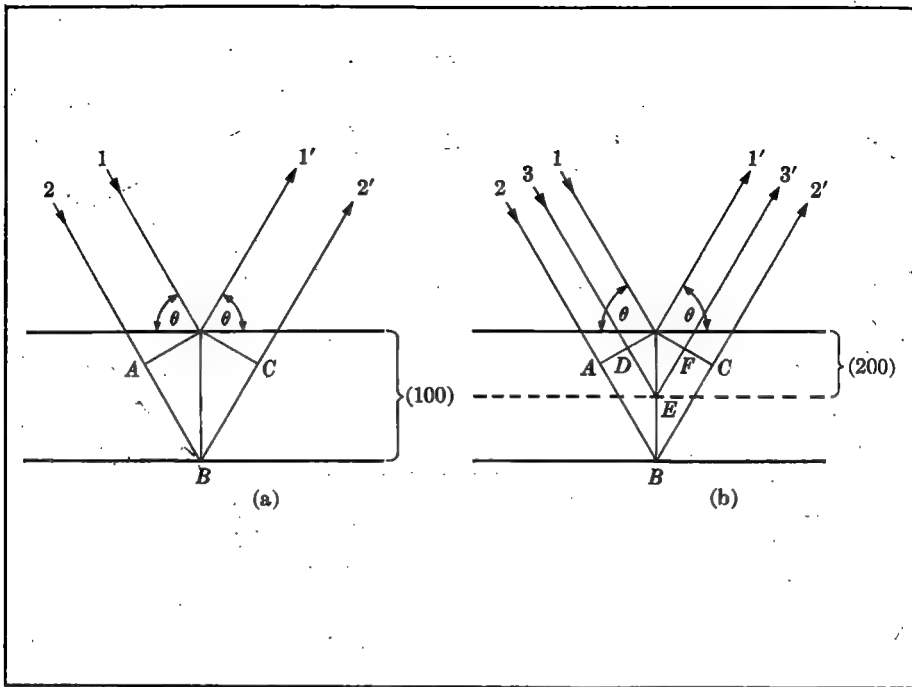
$$2d_{hkl} \sin \theta = \lambda$$

وحيث تكون المسافات مختلفة عن بعضها بنسبة  $\frac{1}{n}$  ، وبما ان ذلك معروف بدلائل

ميلر ، عليه فلا حاجة تلزمنا وضع "n" في المعادلة اذا ماذكرنا (hkl)

ويمكننا توضيح ذلك بشكل دقيق في الشكل (3-4)

الجزء الاول في الشكل (3-4 a) يبين الحيود من المرتبة الثانية



شکل (3-4)

( Second order diffraction ) . بعبارة أخرى حدث الحيود من

المستويات (100)

وبما ان الحيود من المرتبة الثانية يعني ان المسار (ABC) بين شعاعين مستطارين وفي  
مستويين متجاورين (100) هو ضعف طول الموجة (2)

اذا لم تكن هناك مستويات تبين المستويات (100) فيكون فرق المسار بين  
الشعاعين المستطارين مساو لطول موجة واحدة لذلك تسمى بالحيود من الدرجة الاولى.  
أما بالنسبة الى المستويات (300) و (400) .... ، فإن درجة الحيود تكون مكافئة  
للمرتبة الاولى والثانية والثالثة للحيود وهذا يؤكد بأن للمستويات (hkl) مستويات موازية

أخرى ، ولكن المسافة بينهما تختلف بنسبة  $\frac{1}{n}$

## Diffraction direction

4-4 اتجاهات الحيود :

كيف تتعين اتجاهات الحيود الممكنة ، بعبارة أخرى ، الزوايا الممكنة والتي تحاد بها حزمة من الأشعة السينية الأحادية الموجه والساقطة على بلورة ما . بالرجوع الى شكل (3-4) ، نرى ان من الممكن الحصول على زوايا الحيود  $2\theta$  من المستويات (100) وذلك بأستخدام الحزمة الساقطة في زوايا السقوط الصحيحة وبذلك نحصل على حيود الدرجة الاولى والدرجة الثانية والدرجة الثالثة كما يمكن الحصول على الحيود من مجموعة المستويات (110) ومجموعة (111) و (213) ... الخ.

يتبين مما تقدم ، أننا نحتاج الى علاقة عامة تتنبأ بزوايا الحيود لاي مجموعة (Set) من المستويات . يمكننا الحصول على هذه العلاقة من :

$$(1) \quad \lambda = 2d \sin \theta$$

(2) علاقة المسافات البينية (من الملحق) . فمثلا اذا كانت البلورة ذات نظام مكعب ، فتكون علاقة المسافات البينية .

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2 + \ell^2}{a^2}$$

حيث ان (a) حرف المكعب .  
وبربط المعادلتين أعلاه ، نستطيع الحصول على مايلي :

$$\sin^2 \theta = \frac{\lambda^2}{4a^2} (h^2 + k^2 + \ell^2) \quad \text{--- (3-4)}$$

لنفرض اننا استخدمنا طول موجة محددة  $\lambda$  وبلورة معينة (مكعب) ذات وحدة

بناء وطول حرف (a) ، عند ذلك تصبح المعادلة 3-4 جيدة التنبؤ بجميع (زوايا الحيود) المحتملة والتي بها يحدث الحيود من المستويات (hkl) يمكن كتابة المعادلة 3-4 لمجموعة المستويات (100) بالشكل التالي :

$$\sin \theta_{110} = \frac{\lambda^2}{2a^2}$$

ولو أفترضنا ان البلورة من النظام الرباعي وذات الأضلاع a,c عند ذلك يمكننا كتابة العلاقة العامة بالشكل التالي

$$\sin \theta = \frac{\lambda^2}{4} \left( \frac{h^2 + k^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2} \right) \quad \text{--- (4-4)}$$

وبنفس الطريقة يمكن الحصول على علاقة عامة لاي نظام بلوري آخر .

الامثلة السابقة توضح ان اتجاهات حيود الموجات ذات أطوال موجة معينة بواسطة مستويات ذرية معينة يمكن تعيينها بواسطة النظام البلوري للبلورة المعنية وثوابت البلورة (a, b, c) باختصار ، يمكننا تعيين اتجاهات الحيود بواسطة حجم وشكل وحدة البناء في البلورة .

هذه نقطة مهمة جدا من الناحية العملية وكذلك معكوسها :

أي أنه اذا تم تعيين اتجاهات الحيود عمليا ، يمكننا تعيين (قياس) حجم وشكل وحدة البناء البلوري (ثوابت البلورة) ، وهذه من أهم القياسات في تجارب الحيود بصورة عامة . ولا بد لنا ان نذكر هنا ، هوأمكانية تعيين مواقع الذرات في وحدة البناء البلوري من خلال قيم شدة نقاط دوائر الحيود .

فهناك ترتيب معين للذرات في بعض البلورات بحيث تؤدي الى تقليل شدة نقاط

الحيود أو قد تؤدي في بعض الاحيان الى أن تكون الشدة صفرا .

وهذا يعني عدم وجود حيود في ذلك الاتجاه اطلاقا .

في هذه الحالة نستطيع القول ، عدم وجود حيود في ذلك الاتجاه والتي تنبأت بها العلاقات (2-4) ، (3-4) مثلاً ، لذلك ترانا قد أكدنا على كون هذه العلاقات تنبأ باتجاهات الحيود المحتملة ( Possible diffraction beams ) ويشكل نسي لكل حالة بناء بلوري .

#### 5.4 طرق الحيود : Diffraction Methods

يحدث الحيود عندما تتحقق معادلة براك  $\lambda = 2d \sin \theta$  هذا الشرط يضع قيوداً قوية على كيفية الحصول على الحيود من بلورة ما باستعمال أشعة ذات طول موجة  $(\lambda)$  وزاوية سقوط  $(\theta)$  ، لهذا نقول ان وضع بلورة في مسار الاشعة السينية بشكل عشوائي لا يؤدي الى حدوث حيود أو في الحقيقة عدم الحصول على نمط الحيود . لذلك يجب ان نصمم بعض الطرق التي يمكن بواسطتها الحصول على نمط الحيود بسهولة في الظروف العملية .

بصورة عامة ، يجب ان تكون هذه الطرق أو التصميمات مبنية على أساس تغير  $(\lambda)$  بشكل مستمر أثناء التجربة ، أو تغير  $(\theta)$  باستمرار خلال تسجيل نمط الحيود .

يمكننا ذكر ثلاثة طرق رئيسة مبنية على أساس تغير  $\lambda$  و  $\theta$  وهي :

- 1 - طريقة لاوي  $\lambda$  متغيرة  $\theta$  ثابتة
- 2 - طريقة تدوير البلورة " ثابتة " متغيرة جزئياً
- 3 - طريقة المسحوق " ثابتة " متغيرة

#### 1-5-4 طريقة لاوي :

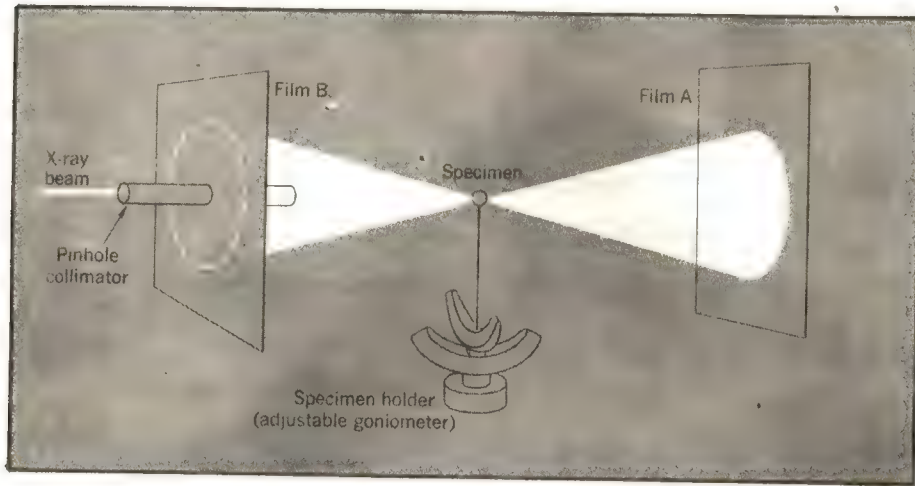
تعتبر الطريقة هي الاولى التي استعملت في الحصول على الحيود ، وفيها تثبت البلورة في مسار الاشعة السينية أو حزمة النيوترونات الساقطة (طيف من طول الموجات) بذلك سوف تختار البلورة طول الموجة الملائمة لكل مجموعة من المستويات الذرية ذات المسافات البينية  $(d)$  للاشعة الساقطة بزاوية  $(\theta)$  بحيث تتحقق معادلة براك  $(\lambda = 2d \sin \theta)$  تعتبر طريقة لاوي هذه من الطرق السريعة والسهلة لتعيين وضع البلورة (Orientation) وكذلك عناصر تناظرها .

وغالباً ما تستخدم هذه الطريقة في المختبرات ، حيث يستعملها مهندسو المواد بشكل واسع . لانها مثالية وسريعة للكشف عن درجة البلورة (Order of cerystalinity) كما يمكن قياس مقدار العيوب الموجود في البناء البلوري بواسطتها وخصوصاً بعد المعاملات الحرارية ( Heat treatment ) والميكانيكية .

والشكل (4-4) يبين كامرة للاشعة السينية تخطيطياً ، يستعمل مصدراً للأشعة السينية في هذه الكامرة بحيث يولد أشعة ذات طيف معين من أطوال الموجات (بعبارة اخرى ، تحوي حزمه من الاشعة السينية ، عدة أطوال موجات وبشدة مختلفة) . عادة تكون اطوال الموجات واقعة بين  $0.2\text{\AA} - 2\text{\AA}$  حيث يمكن تجميع الاشعة من المصدر على سطح النموذج بواسطة امرار الاشعة خلال فتحة صغيرة مثبتة في مسار الاشعة (Pinhol arrengment) وجدير بالذكر ان حجم البلورة التي تفحص بهذه الطريقة

يكون عادة في حدود Imm أو أكثر .

بعد ان تحترق الاشعة البلورة المثبتة في مسارها تصطدم ببلوح فوتغرافي كما هو مبين في الشكل ، حيث يتم تسجيل نمط حيود النموذج أو البلورة ، وكمثال على ذلك . نمط الحيود في الشكل (4-4) .



شكل (4-4)



شكل (5-4)

يبين الشكل أعلاه (5-4) نمط حيود لاوى من بلورة السيليكون وفي وضع (100) لاحظ ان هذا النمط من ناحية الوضع اذا مادور بزاوية  $\frac{2}{4}\pi$  وهذا طبعا ناتج عن ان بلورة السيليكون [100] رباعية التناظر حول هذا المحور.

هناك عدة حقائق يمكن ان نستنتج من نمط الحيود في الشكل (5-4) بالاضافة الى وضع البلورة ونظام التناظر.

هذا النمط من الحيود يتكون من سلسلة من نقاط الحيود والتي تعود لكـل منها الى مجموعة مستويات ذرية في البلورة . كل مستوى أو مجموعة مستويات تختار من الأشعة الساقطة (كما ذكرنا سابقا ) طول موجة تحقق معادلة براك  $(n\lambda = 2d\sin\theta)$  حيث تعبر (n) هنا عن مرتبة الحيود وبأعداد كاملة وتكبر كلما ابتعدنا عن مركز النمط .

لا بد لنا ان نذكر مرة أخرى ، بأن طريقة لاوى لا تستعمل لتعيين البناء البلوري المضبوط والسبب وجود موجات مختلفة قد تؤدي الى ان تتراكب مواقع حيود لاطوال موجات مختلفة من مجاميع مستويات مختلفة (Over lap) هذا يؤدي الى ضياع كثير من المعلومات وذلك لصعوبة استخدامها .



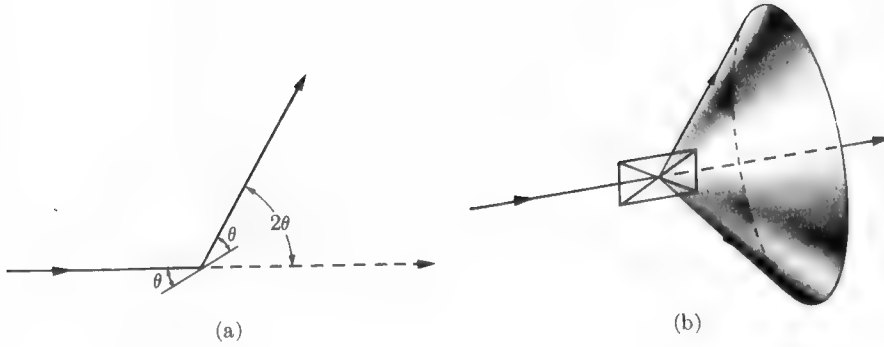
#### 2-5-4 طريقة تدوير البلورة : Rotating Crystal method

في هذه الطريقة يتم تدوير البلورة الاحادية (المطلوب دراستها) حول محور ثابت في مسار الاشعة السينية او حزمة النيوترونات أحادية طول الموجة (monochromatic) بعبارة اخرى ذات ( $\lambda$ ) ثابتة ، ان تدوير البلورة في مسار الاشعة يعني تغيير قيم زاوية السقوط ( $\theta$ ) للحصول على الحيود من مستويات متوازية مختلفة . هذه الطريقة تستخدم لتعيين البناء البلورية الاحادية .

الجهاز او الكامرة المستعملة في هذه الطريقة . مبينة في الشكل (5-2)

فإذا ماتم تدوير هذا المستوى حول الأشعة الساقطة كمحور ، بحيث تبقى ( $\theta$ ) ثابتة ، عند ذلك سوف تسلك الحزمة أو الاشعة المحادة مسار سطح مخروطي كما في الشكل (6-4)

كما هو موضح ، محور المخروط مطابق لمسار الاشعه المخترقه .



شكل (4-6)

في الحقيقة ، لا يحدث هذا التدوير فعلا ، ولكن السبب هو وجود عدد كبير جدا من الجسيمات البلورية تمتلك جميع الاوضاع الممكنة وتسبب ذلك نمط الحيود وهي بذلك تكافئ التدوير الذي تكلمنا عنه

بهذه الطريقة يكون مخروط لكل مجموعة مستويات متوازية  $(hkl)$  ، وبما ان المسافات البينية مختلفة بالنسبة للمستويات ، لذلك نحصل على مجموعة مخاريط متمركزة ولها محور مشترك ، ولكن لها زوايا رأسية مختلفة كما موضحة في الشكل (4-7)

يدعى هذا النمط من الحيود ، بنمط دويي - شيسر (Debye-schæser) يوضع شريط فوتوغرافي على شكل دائرة ومتمركزة داخل اسطوانة تحوي النموذج في مركزها ، تسلط الاشعة بشكل عمودي على هذا المحور ، كما مبين في الشكل . بعد تسجيل النمط (يعرض الشريط الفوتوغرافي للاشعة ) وبذلك نستطيع الحصول على نمط الحيود المبين في الشكل (4-7) الذي يتكون من خطوط حيود منحنية وليست على شكل نقاط حيود ، كما هو الحال في نمط الحيود البلوري الاحادية .

في الحقيقة ، هذه المنحنيات عبارة عن نقاط حيود قريبة من بعضها ، بحيث يصعب تمييزها ، كل نقطة ناتجة من الحيود عن جسم بلوري معين ، وحيث ان المجسمات

قريبة من بعضها جدا ، وتمتلك موضع اختيارية بالنسبة لبعضها ، لذلك تظهر هذه المنحنيات .

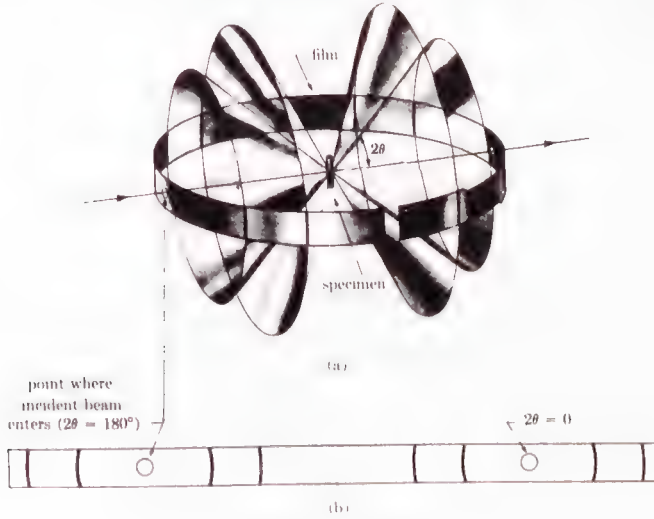
بقياس موضع كل خط ومعرفة طول الموجة  $\lambda$  يمكننا حساب قيمة « $\theta$ » لكل واحدة ، عند ذلك نستطيع حساب قيمة المسافات البينية  $d$  ومن ثم ثوابت البلورة الأخرى . وبالعكس ، اذا كان شكل وحجم وحدة البناء في البلورة معروفا ، عند ذلك نستطيع التنبؤ بموضع خطوط الحيود على الشريط

يوضع اللوح الفوتغرافي في ماسك أسطواني ، متمركز على محور دوران البلورة كما هو واضح في الشكل (4-6) في هذه الطريقة يكون حجم البلورة في حدود 1 ملم أيضا . لقد ذكرنا سابقا ، ان الأشعة في هذه الحالة تكون احادية الموجة . يمكننا الحصول على هذا النوع من الأشعة وذلك بأمرارها خلال مصفاة ( filter ) والذي تكلمنا عنه بأسهاب في الفصل السابق غالبا ماتكون المصفاة هذه عبارة عن بلورة أخرى . هناك تحويلات عديدة لهذه الطريقة ، تستخدم حسب الحاجة ووفق درجة الدقة المطلوبة في التجربة .

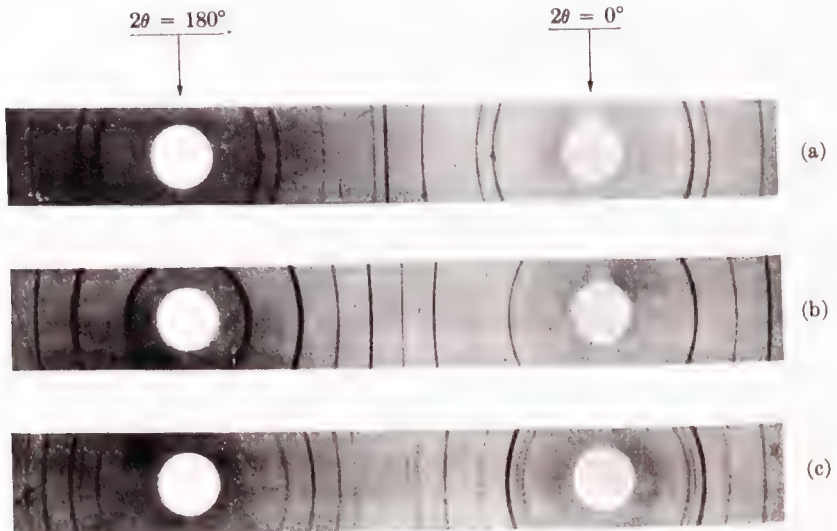
## Powder Method

طريقة المسحوق :

في هذه الطريقة ، تسحق البلورة بشكل جيد الى ان نحصل على المسحوق ذات الجسيمات الصغيرة جدا (Powder) يوضع جزء من هذا المسحوق في مسار الاشعة السينية ذات الموجة الاحادية . وكل جسيم من جسيمات المسحوق عبارة عن بلورة صغيرة جدا ذات وضع عشوائي بالنسبة



شكل (7-4)



شكل (8-4)

للاشعة الساقطة . بما ان هناك عدداً كبيراً من هذه الجسيمات في مسار الاشعة ، فيكون هناك احتمال كبير من توافق وضع إحدى الجسيمات أو عدد منها مع زاوية سقوط الأشعة عليها بحيث يتحقق قانون براك وبذلك تحدث ظاهرة الحيود .

وعلى سبيل المثال اذا كان وضع المستويات (100) في عدد من هذه الجسيمات البلورية يسمح لتحقيق معادلة براك فعند ذلك تحدث ظاهرة الحيود ، كما قد تكون مجموعة اخرى من المستويات (110) بوضع يسمح بتحقيق معادلة براك ايضاً فيحدث الحيود وهكذا بالنسبة الى المجاميع الاخرى . بعبارة اخرى سوف نحصل على نمط حيود من مجاميع في أوضاع ولكن تسمح بتحقيق قانون براك . يمكننا القول ، ان نمط الحيود الذي يتم الحصول عليه بهذه الطريقة يكون مطابقاً للنمط الذي نحصل عليه من بلورة احادية تدور حول جميع المحاور الممكنة وليس حول محور واحد .

الشكل (4-7) يبين مستوى إحدى المجموعات في الوضع الصحيح الحيود . الفوتوغرافي سيقا . يعود خط الحيود ذو الزاوية الصغيرة ( $2\theta$ ) الى مستويات متوازية ذات اكبر مسافة بينية ( $d$ ) وقس على ذلك .

في النظام البلوري المكعب قيمة " $d$ " على سبيل المثال ، تكون لها أكبر قيمة عندما تكون قيمة ( $h^2 + k^2 + l^2$ ) اصغر ما يمكن . بالطبع القيمة الدنيا لمجموع مربعات الدلائل تساوي واحداً .

عند ذلك يكون ( $hkl$ ) هو (100) ، ولهذا نقول ان بقعة الحيود أو خطوط الحيود تقابل أصغر زاوية ، أقرب ما يكون الى مركز الحيود (كلما ابتعدنا عن المركز تكبر الزاوية  $2\theta$  وتقل " $d$ " .

والخط التالي يكون (110) مثلاً ، أي ان قيمة ( $h^2 + k^2 + l^2$ ) تساوي 2 وهكذا تستعمل طريقة المسحوق (Powder method) هذه بشكل واسع في حقل فحص المعادن (metallurg) وتستخدم ايضاً عند عدم امكانية الحصول على بلورة احادية كبيرة نسبياً (بحجم 1mm مثلاً) من بعض المواد .

ان هذه الطريقة مفيدة جداً في حالات تعيين ثوابت البلورة ، أو في حالات دراسة وتعيين الاطوار في المواد (Phases) . سواء عند تواجد هذه الاطوار منفردة أو كخليط مثل السبائك ونتاج التآكل وغير ذلك .

سؤال (١) : جد قيمة  $2\theta$  ،  $(hkl)$  لخطوط الحيود الثلاثة الاولى (ذات الزوايا الصغيرة) في نمط الحيود المسحوق للمواد التي لها الانظمة البلورية التالية .

أ - مكعب بسيط ( $a = 3.A^\circ$ )

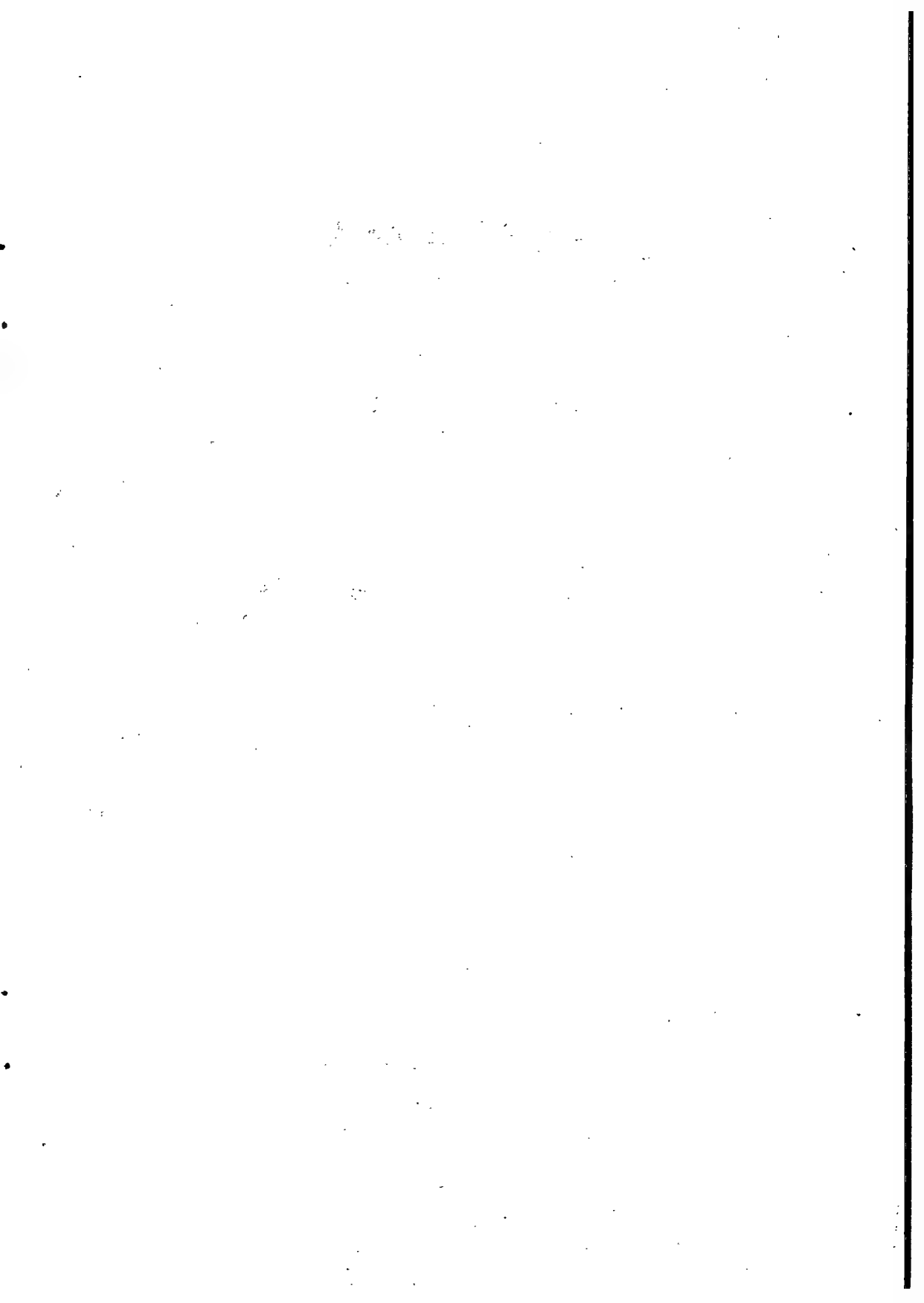
ب - نظام رباعي بسيط ( $a = 3A^\circ$  ,  $c = 2A^\circ$ )

علما بأن الاشعة المسلطة هي  $\text{CuK}\alpha$

سؤال (٢) : سلطت حزمة من الاشعة السينية بصورة أفقية وموازية للمحور  $(010)$  وعمودية على المحور  $(100)$  للبلورة من نظام مكعب ؛ حرف وحدة اليتار فيها  $(9A^\circ)$  إذا علمت أن المحور  $(001)$  يكون موازياً للشريط الفوتغرافي الذي يبعد عن البلورة  $(5\text{ م})$  ؛ حدد مواقع بقع الحيود على الشريط .

## الفصل الخامس

---





## 1.5 شدة الحزم المحادة . The intensities of diffraction - beams

مقدمة :-

لقد ذكرنا في عدة مناسبات سابقة ، بأن موقع الذرات (Atom positions) لا يؤثر في اتجاهات حزم الاشعة المحادة وإنما يؤثر كبير في شدة الحزم هذه .

وبعبارة اخرى ، الاتجاهات مرتبطة بشكل وحجم البناء والشدة بترتيب الذرات داخل وحدة البناء .

وللتأكد من ذلك يمكن النظر في الشكل (1-5) . والبنائين  $b, a$  هما من النظام المعينين .

(a) تدعى متمركز القاعدة (Base centered) و (b)

متمركزة الجسم (body centered) ، وكل وحدة تحوي على ذرتين من نفس النوع . ولودققت النظر في الشكلين لاستنتجت إمكانية استنباط الواحد من الآخر وذلك

$$\frac{1}{3} c \text{ بأزاحة ذرة واحدة بمتجه مقداره}$$

ولفرضنا الانعكاسات من المستويات المتوازية (100) كما في الشكل (1-5 a)

والخاص بوحدة البناء متمركز القاعدة ولنفرض ان قانون براك Bragg يتحقق لقيم  $\lambda$  و  $\theta$  المستعملة في هذه التجربة ، وهذا يعني ان فرق المسار ABC بين الشعاعين

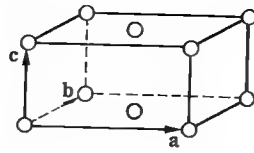
$1$  و  $2$  هو طول  $\lambda$  لموجة واحدة ، أي ان للحزمتين  $1$  و  $2$  نفس الطور وبذلك تحدث ظاهرة الحيود في الاتجاه المبين ، وكذلك بالنسبة لمتمركز الجسم (b) ، حيث

ان الحزمتين  $1$  و  $2$  هما من نفس الطور لان الفرق المسار (ABC) تساوي طول موجة واحدة أيضا ، ولكن في هذه الحالة يوجد مستوى آخر من الذرات بين المستويات (100)

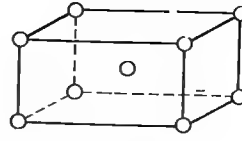
(في منتصف المسافة البينية) ، وليس صعبا ان نستنتج ان فرق المسار بين  $1$  و  $3$  هو

نصف المسار (ABC) ، أي نصف طول الموجه ، لذلك فإن  $3$  و  $1$  تكونان في طورين متعاكسين تماما ، وهذا سبب تلاشيهما (annul each other) ويمكن

التدرج بنفس الاسلوب بالنسبة للمستويات غير المرئية في الشكل . أي ان  $4'$  تلاشي  $2'$  وهكذا .

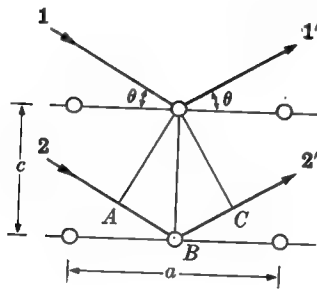


(a)

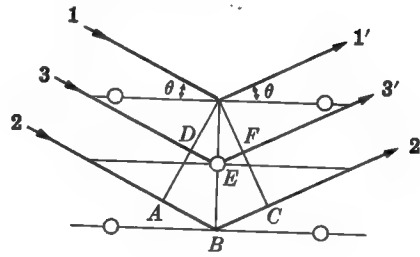


(b)

# SCATTERING BY AN ELECTRON



(a)



(b)

شکل (1-5)

وهذا يعني لوجود لبقع الحيود او خط الحيود (100) في نظام متمركز الجسم .  
كل ماتقدم يبرهن لنا ان ترتيب الذرات (موضعيًا) في وحدة البناء يثري شدة  
الحيود بل يسبب تلاشية كليًا في بعض الحالات .

ان التغير في وضع الذرات داخل وحدات البناء البلوري يؤدي الى تغيير في شدة الحيود ،  
وليس من الضروري ان يؤدي الى ان تكون فيه الشدة صفرا ، والحقيقة التي نستنتجها هو  
اننا نعين مواقع الذرات في وحدات البناء البلوري من شدة الحيود ، سواء حيود الاشعة  
السينية او الاشعاعات والجسيمات الاخرى .

هذقنا في هذا الفصل هو إيجاد علاقة رياضية بين شدة الحيود ومواقع الذرات  
داخل وحدة البناء ويجب أن نشير هنا الى ان إيجاد أو اشتقاق مثل هذه العلاقة ليس  
بالامر السهل ، حيث تتداخل عدة عوامل ، لذلك يجب ان نتدرج نحو هذا الهدف  
استطارة الاشعة السينية من الكترون منفرد في بادي الامر ، ثم من الذرة المنفردة  
وبعد ذلك من جميع الذرات في وحدة البناء البلوري ثم نطبق مانصل اليه على  
بعض المسائل العملية .

## 2.5 استطارة الأشعة السينية من الالكترون - Scattering by a electron

ذكرنا سابقا ان الاشعة السينية هي عبارة عن موجات كهرومغناطيسية تتميز  
بأن مركبة المجال الكهربائي (كمية اتجاهية) تتغير بشكل لولبي (Sinusoidally)  
مع الزمن ، وبما ان المجال الكهربائي يسلط قوة على اي جسم مشحون (مثل الالكترون)  
فالمجال الكهربائي المتذبذب للاشعة السينية يولد هذه القوة على الالكترون عند سقوطه  
وتكون هذه القوة ذات طابع متذبذب ايضا تؤدي الى تذبذب او اهتزاز الالكترون حول  
موقعه ، ومن المعروف ان الشحنات الكهربائية المعجلة او المبثثة تبعث أشعة كهرومغناطيسية  
تحت تأثير الاشعة السينية الساقطة عليه . وهذه العملية هي التي ندعوها باستطارة الاشعة  
السينية من الالكترون حيث ان الاشعة المستطيرة هي الاشعة المنبعثة من الالكترون  
بتأثير الاشعة السينية ، الاشعة المنبعثة من الالكترون لها نفس طول موجة وتردد الاشعة  
الساقطة ، لذلك يقال ان الاشعة المنبعثة والساقطة تكون متشابهة (coherent)  
حيث ان هناك علاقة طور وثيقة بين الاشعتين (الساقطة والمنبعثة).

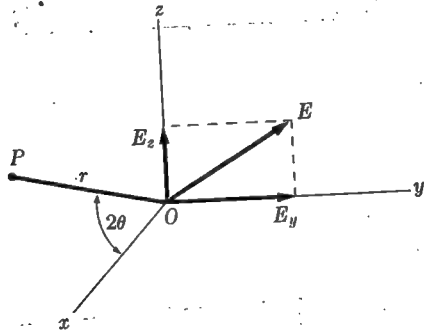
تنبعث الاشعة المستطيرة من الالكترون في جميع الاتجاهات ولكن شدة الاشعة تعتمد  
على زاوية الاستطارة كما بينها شومسون (J, J Thompson) (مكتشف الالكترون

، لقد تمكن ثومسون من صياغة معادلة رياضية مفادها ان الاشعة السينية المستطيرة من الالكترن ذات الشحنة  $e$  والكتلة  $m$  على مسافة  $r$  من الالكترن هي :

$$I = I_0 \frac{e^4}{r^2 m^2 c^4} \sin^2 \alpha \quad \dots\dots(1-5)$$

حيث  $I_0$  هي شدة الاشعة الساقطة و  $c$  هي سرعة الضوء و  $\alpha$  هي الزاوية بين الاشعة المستطيرة وأتجاه تعجيل الالكترن .

ولاجل الحصول على معادلة تامة لاستطارة الاشعة السينية من الالكترن متضمنة تأثير الاستقطاب ، نفرض ان الاشعة الساقطة تسير بالاتجاه  $(OX)$  كما في الشكل (2-5) حيث تصطدم وتري الكترن في نقطة الاصل  $(O)$  والذي نرغب فيه هو ان نحسب شدة الاشعة المستطيرة في نقطة  $P$  واقعة في المستوي  $(XZ)$  حيث ان  $OP$  يعمل زاوية قدرها  $2\theta$  مع الاشعة الساقطة كما هو مبين في الشكل .



شكل (2-5)

يكون اتجاه المركبة الكهربائية (E) للأشعة السينية غير المستقطبة في المستوى (yz) ، ويمكن تحليل (E) الى مركبتين مستقطبتين هما  $E_y$  و  $E_z$  كما هو واضح في الشكل ، بحيث  $E^2 = E_y^2 + E_z^2$  ويمكن ان نقول في المعدل ان

$$E_z = E_y \quad \text{لان اتجاه } E \text{ هو عشوائي تام ، أي ان}$$

$$E_y^2 = E_z^2 = \frac{1}{2} E^2$$

وهذا يعني ان شدة هاتين المركبتين للأشعة الساقطة تتناسب طرديا مع مربع متجه المجال الكهربائي لكل منهما لان (E) تمثل سعة الموجة (Amplitude) وهذا ليس بالشيء الجديد ، وان - الشدة تتناسب مع مربع السعة في كل الاحوال ، وبذلك تكون

$$I_{oy} = I_{oz} = \frac{1}{2} I_0$$

يتعجل الالكترون بالانجاء ( $\gamma_0$ ) نتيجة لتأثير مركبة الأشعة الساقطة باتجاه الاحداني (y) ، وهذا يؤدي الى ان تكون شدة الأشعة المستطيرة في (P) هي :-

$$I_{py} = I_{oy} \frac{e^4}{r^2 m^2 c^4}$$

وبما ان الزاوية  $\pi/2 = \Delta \gamma_{op} = \alpha$  فتكون شدة الأشعة المستطيرة باتجاه z كما يلي :-

$$I_{pz} = I_{oz} \frac{e^4}{r^2 m^2 c^4} \cos^2 2\theta$$

$$\alpha = \frac{\pi}{2} - 2\theta \quad \text{حيث}$$

الشدة الكلية للأشعة المستطيرة في (P) تساوي مجموع شدتي المركبتين

$$I_p = I_{py} + I_{pz}$$

$$I_p = \frac{e^4}{r^2 m^2 c^4} (I_{0y} + I_{0z} \cos^2 2\theta)$$

$$I_p = I_0 \frac{e^4}{r^2 m^2 c^4} \left( \frac{1 + \cos 2\theta}{2} \right) \quad (2-5)$$

وهذه هي معادلة ثوميسون لاستطارة الاشعة السينية من الالكترون المنفرد ، واذا ما عوضنا قيم الثوابت  $e, r, m, c$

في المعادلة (2-5) فإننا سنستنتج ان شدة الاشعة المستطيرة من الالكترون هي كمية ضئيلة نسبة لشدة الاشعة الساقطة ، والمعادلة (2-5) نحصل على الحقائق الآتية :

(1) ان شدة الاشعة المستطيرة تقل مع معكوس مربع المسافة من الالكترون كما هو متوقع .

(2) ان شدة الاشعة المستطيرة هي أكبر في اتجاه مسار الاشعة او عكسه تماما (أي للزاوية  $\theta$  و  $\pi$ ) مما هي للاتجاه العمودي ( $\frac{\pi}{2}$ ) على مسار الاشعة الساقطة .

كما تعطي المعادلة (2-5) القيم المطلقة لشدة الاشعة المستطيرة بوحدة  $\text{ergs} / \text{cm}^2 / \text{sec}$  وبدلالة القيم المطلقة لشدة الاشعة الساقطة ، تكون القيم المطلقة صعبة الحساب عادة ، وكذلك صعبة القياس ولكن لحسن الحظ ان القيم النسبية (Relative values) تفي بالغرض في تجارب الحيود .

وتكون جميع قيم العوامل ثابتة تقريبا في المعادلة (2-5) عدا الحد الاخير

$\frac{1}{2}(1 + \cos^2 2\theta)$  ويدعى هذا الحد بعامل الاستقطاب (Polarization factor)

وان وجوده يجعل حساباتنا للشدة صعبة بعض الشيء ولكنه يصاحب معادلات الاشعات غير المستقطبة ، ولا بد من اعتباره عند احتساب الحزم المحيدة في المستقبل . وهناك نوع آخر لاستطارة الاشعة السينية في الالكترون يدعى بتأثير كومبتين (Compton effect) نسبة الى العالم Compton ، وهذا التأثير لا يخص موضوع الحيود وشكل مباشر .

### 3.5 الاستطارة من ذرة منفردة :

عندما تلاقي الأشعة السينية ذرة ما ، فإن كل الكترون من الالكترونات في الذرة يسهم في استطارة الأشعة الساقطة بهيئة متشاكهة ( Coherently ) وفقا لمعادلة تومبس معادلة رقم (5-2) ، وكذلك نتوقع ان نواة الذرة تسهم ايضا في استطارة الأشعة الساقط لانها تحمل شحنة كهربائية ايضا ، ولكن كتلة النواة كبيرة جدا نسبة الى كتلة الالكترون ، لذلك يكون تذبذب النواة ضعيفا ويمكن اهماله ، وسنستنتج ذلك من المعادلة (5-2) حيث ان كثافة الأشعة المستطيرة تتناسب عكسيا مع مربع كتلة الجسم المسبب للاستطارة.

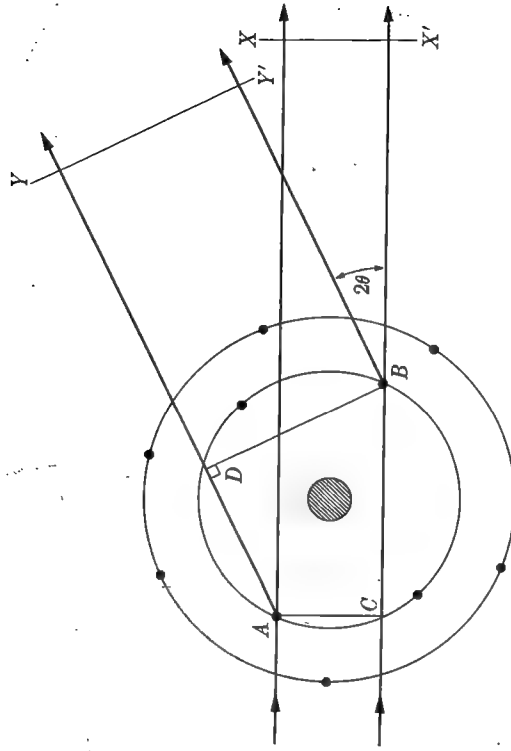
يمكن القول اذا ، بأن الالكترونات الذرة تسهم في استطارة الأشعة السينية فقط وليس هناك اية مساهمة لنواة الذرة وبذلك يبرز السؤال المهم التالي : -

هل ان الأشعة المستطيرة من الذرة هي عبارة عن مجموع الاشعاعات المستطيرة من الالكترونات الذرة ؟ وبعبارة اخرى ، اذا كان العدد الذري للذرة هو  $z$  ( الذرة تحوي على  $z$  من الالكترونات ) ، وهل تكون الأشعة المستطيرة من الذرة هي تلك المستطيرة من الكترون واحد مضروبة بالعدد الذري ؟

الجواب على هذا السؤال هو نعم ، فإذا كان اتجاه الاستطارة هو اتجاه الحزم الساقطة ( $O = 2\theta$ ) لان الاشعاعات المستطيرة من الالكترونات المختلفة تكون في نفس

الطور (متشاكهة)، ويمكن ان تجمع جمعا جبريا بسيطا ، هذه الحقيقة ليست صحيحة بالنسبة للاستطارة بالاتجاهات الاخرى ، وان الالكترونات في الذرة بها مواقع مختلفة ، وهذا يؤدي الى وجود فرق في المسار بين الشعاعين المستطيريين من الالكترونين في موقعين مختلفين ، وهذا يؤدي الى فرق في الطور ، حيث تكون الشدة الكلية معتمدة على علاقة الطور بين الاشعاعات المستطيرة في الالكترونات ، ونظرا لاهمية هذه الظاهرة، دعنا ننظر الى الشكل (5-3) حيث الالكترونات تمثل في هذا الشكل بنقاط حول حول النواة المركزية ، وان الأشعة المستطيرة من الالكترونين

A و B تكون متشاكهة (في نفس الطور) على جبهة الموجة  $xx'$  وذلك لان كل موجة قطعت نفس المسافة قبل وبعد الاستطارة .



شكل (3-5)

أما الحزم المستطيرة الأخرى المبينة في الشكل على كل حال بينهما فرق مسار يساوي  $(CB - AD)$  لذلك فهي غير متشابهة حيث أنها ليست في نفس الطور على جبهة الموجة  $YY'$  حيث أن فرق المسار أقل من موجة واحدة ، وبذلك يحدث تداخل جزئي بين الموجتين المستطيرتين من  $A$  و  $B$  مما يؤدي إلى تقليل شدة الأشعة المستطيرة دون حدوث هذا التداخل .



والكمية التي تقيس عامل الاستطارة الذرية ( The atomic scattering factor )

( f ) يقيس كفاءة إستطارة الاشعة الساقطة على ذرة في اتجاه معين ويعرف هذا العامل بأنه

النسبة بين سعات الموجات المستطيرة من الذرة الى تلك المستطيرة من الكترول منفردة، اي ان

$$\frac{\text{سعة الموجة المستطيرة من الذرة}}{\text{سعة الموجة المستطيرة من الكترول منفرد}} = f$$

وهذا يعني ان  $f = z$  عند الاستطارة بالابتجاه ( $0 = 2\theta$ ) فكلما ازدادت

(  $\theta$  ) قلت قيمة العامل  $f$  ، حيث يزداد فرق الطور بين الموجات المستطيرة من الالكترول

المختلفة في الذرة ويجب الا ننسى ان  $f$  تعتمد على طول موجة الاشعة الساقطة ،

حيث تقل كلما قصرت طول الموجة ، حيث يكون فرق المسار اكبر بنسبة لطول الموجة

وبذلك يزداد تأثير التداخل وان حساب  $f$  يعتمد على ( $\sin \theta$ ) وليس على  $\theta$

حيث تقل قيمة  $\theta$  بآزدياد قيمة  $\frac{\sin \theta}{\lambda}$  . وهناك جداول فيها قيم  $f$  كدالة

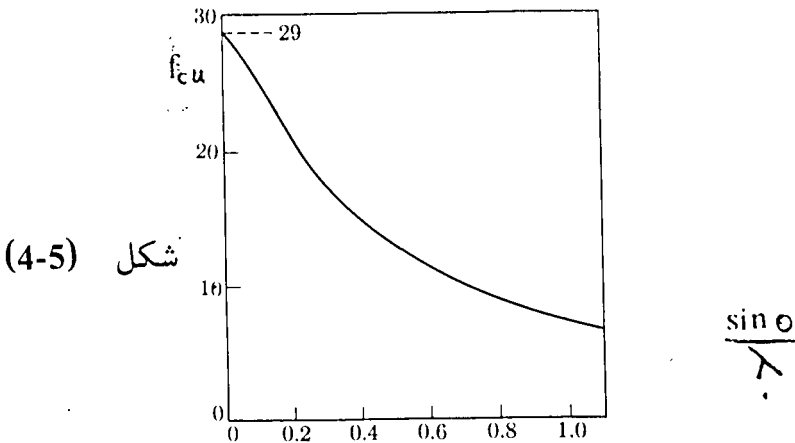
لقيمة  $\frac{\sin \theta}{\lambda}$  للذرات المختلفة في جداول الكتب المتخصصة بعلم حيود الاشعة السينية من البلورت .

ان الشكل (4-5) يبين تغير  $f$  لذرة النحاس مع  $\frac{\sin \theta}{\lambda}$  ويمكن ان

نستنتج من الشكل (4-5) ، ان العامل  $f$  يقل كلما اقتربت  $\theta$  من 90° كما

تقل قيمة العامل كلما قصرت طول الموجة وفي الحقيقة ان  $f$  تمثل سعة الموجة

المستطيرة ، وبالطبع فأن شدة الموجة . المستطيرة هي مربع ( $f$ ) .



ولاجل اعطاء مختصر لما تقدم في هذا البند نقول انه عند اختراق الاشعة السينية للمادة تحدث ظاهرتان .

أ - الاستطارة من الالكترونات المقيدة جيدا الى الذرة والتي تستعمل لاستقاء المعلومات عن انمادة ( النموذج ) من تجارب الحيود .

ب - الأستطارة من الالكترونات غير المفيدة وفق تأثير كومبين حيث يمكن اعتباره استطارة غير مرنة تسهم في تشويش نمط الحيود ، حيث تكون الشدة موزعة بشكل عشوائي في خلفية النمط ( Back ground ) وهذا العامل يزداد كلما قل العدد الذري (  $Z$  ) للذرات المكونة للمادة ، لذلك فـأن الحصول على نمط الحيود من المواد العضوية اصعب نسبيا من المواد غير العضوية ( عالية العدد الذري ) .

#### 4-5 الاستطارة من وحدة البناء البلوري Scattering by a unit cell

الهدف هو ان نصل الى علاقة تتحكم في شدة حزمة الحيود ، وهنا سوف نحاول ان نصل الى هذه العلاقة ليس للاستطارة من ذرة واحدة وانما من جميع الذرات التي تتكون منها البلورة ، وبما ان الذرات تكون مرتبة ترتيبا هندسيا ووفق انظمة محددة في البلورة ، هذا يعني ان الحيود سيحدث في اتجاهات محددة وتدعى باتجاهات حزم الحيود (أو الحزم المحادة) ومن المعلوم ان هذه الاتجاهات محددة بقانون براك الذي سبق وان شرحناه باسهاب .

لنفرض ان قانون براك يتحقق ، فالمطلوب هو ايجاد شدة الحزمة المحادة من البلورة

كدالة لمواقع الذرات ، وبما ان البلورة هي عبارة عن تكرار ( Repetitions ) لوحدة البناء ( Unit cell ) لذلك يكفي ان نعتبر ترتيب الذرات في وحدة البناء ، ومن ثم تأثير ذلك في شدة الحزمة المحادة ، وفي الحقيقة ان التأثير يشبه الى حد كبير استطارة الاشعة من الذرة المنفردة والتي نوقشت قبل قليل ، ولقد راينا ان هناك تأثيرا في شدة الحزمة المحادة نتيجة لعلاقة الاطوار للحزم المستطارة من الالكترونات في الذرة ، عدا تلك المستطيرة بالاتجاه (  $O = 2\theta$  ) وبفس الطريقة.



والان لتكريفية تأثير هذه الحزمة المحادة من تلك التي تحاد من الذرة فـ  
 $B$  ، والتي هي على مسافة  $x$  في الذرة  $A$  لاحظ اننا نعتبر هذا الاتجاه فقط ،  
 لانه محقق حسب قانون براك من الواضح ان فرق المسارين الموجتين  $3'$  و  $1'$   
 ( $\delta_{3'1'}$ ) سيكون اقل من طول موجة واحدة  $\lambda$  وبتناسب بسيط يكون

$$\delta_{3'1'} = RBC = \frac{AB}{AC} (\lambda) = \frac{a}{a/h} (\lambda) \quad (3-5)$$

ويمكن التعبير عن فرق الطور بوحدات طول الموجة او بالقياس الزاوي  
 (Angular measure)

وان اختلاف موجتين في المسار بطول موجة واحدة

تقابل بالقياس الزاوي اختلافاً في الطور مقداره  $360^\circ$  اي  $(2\pi)$ .

فإذا كان فرق المسار ( $\delta$ ) فيكون الفرق في الطور بالقياس الزاوي هو  $(2\pi) \frac{\delta}{\lambda}$   
 وفي الحقيقة عبرنا عن الفرق بالطور بالقياس الزاوي وذلك لانه لايعتمد على طول الموجة ،  
 لان عكس ذلك يتطلب تعيين طول الموجة . وبذلك يكون فرق الطور بين الاشعة  
 المستطارة من الذرة  $B$  وبين المستطارة من  $A$  في نقطة الاصل هو

$$\Phi = \frac{\delta_{3'1'}}{\lambda} (2\pi) = \frac{2\pi h x}{a}$$

فإذا عين موضع الذرة باحداثياتها النسبية  $(\frac{x}{a}) = \mu$  وبذلك يكون فرق الطور

$$\Phi_{3'1'} = \frac{\delta_{3'1'}}{\lambda} (2\pi) = 2\pi h \mu$$

ولنفس السبب نستطيع أن نعمم على احداثيات  $B$  النسبيه هي  $(\frac{x}{a}, \frac{y}{b}, \frac{z}{c})$ .  
 ويعبر عنها بالحروف  $u, v, w$  على التوالي ، وبذلك نصل الى العلاقة لفرق المسار  
 بين الموجة المستطارة من الذرة  $B$  والمستطارة من الذرة  $A$  للحزمة الحادة —

(hKL)

$$\Phi = 2\pi(hu + kv + \delta w) \quad (4-5)$$

وتعتبر هذه المعادلة من المعادلات العامة ، وتطبق لوحداث البنسـاء ( Untit cell ) في كل الانظمة ومهما كان شكلها .

قد تختلف الحزمتان من  $A$  و  $B$  ليس في الطور فقط وانما في السعة ايضا وخصوصا اذا كان من عنصرين مختلفين ، وفي هذه الحالة تعطى سعتاهما نسبة الى سعة الموجة المستطارة من الكترون منفرد «  $f$  » (عامل الاستطارة الذري) .

ويتبين مما تقدم ان الاستطارة في وحدة البناء هي عبارة عن اضافة موجات ذات ساعات واطوار مختلفة الى بعضها لغرض ايجاد المحصلة ( Resultant ) وكذلك يجب اضافة جميع الموجات المستطيرة من ذرات وحدة البناء بما في ذلك تلك المستطيرة من  $A$  ، (نقطة الاصل) الى بعضها .

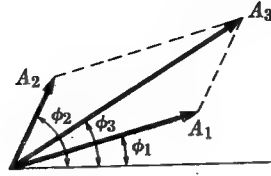
واحسن طريقة ملائمة للجمع ، هو ان نعبر عن الموجات بالدالات الاسية المركبة (exponential function) ومن ثم جمعها فمثلا يمكن التعبير عن حزمتين للاشعة السينية المحادتين ذات طورين مختلفين على جبهة الموجة بالشكل التالي :

$$E_1 = A_1 \sin(2\pi)\nu t - \Phi_1 \quad (5-5)$$

$$E_2 = A_2 \sin(2\pi)\nu t - \Phi_2 \quad (6-5)$$

هاتان الموجتان هما نفس التردد لذا يكون لهما نفس الطول الموجي ولكن يختلفان في السعة

والطور ويمكن جمع موجتين مختلفتين بالطور والسعة بطريقة رسم المتجه كما في الشكل (6-5) ، وان كل موجة تمثل بمتجه ذات قيمة تساوي سعة الموجة وزاويته مع الاحداثي الافقي تساوي طور الموجة ، وبذلك يمكن الحصول على المحصلة بطريقة اكمال متوازي الاضلاع كما هو مبين في الشكل ، والطريقة الاخرى للجمع ، هي طريقة الاعداد المركبة، حيث تستعمل الاعداد المركبة للتعبير عن الساعات ، وان العدد المركب يتكون من حدين، حقيقي وخيالي مثل  $(a + ib)$  ، والاعداد  $a$  و  $b$  هما حقيقيان وان



شكل (6-5)

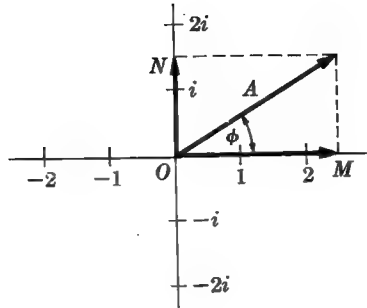
هو خيالي ، ولذلك يمكن تمثيل مثل هذا العدد في مستوى مركبي كما هو مبين في الشكل (7-5) ، حيث  $(A)$  هي محصلة الساعات و  $\Phi$  هي طور المحصلة وعملية الجمع هي عبارة عن جمع المتجهات الاعتيادية ، وبذلك تكون طريقة العدد

المركب للتعبير عن الموجات كما يلي :

$(A \cos \Theta + A i \sin \Theta)$  للمتجه  $OA$  في الشكل (7-5) ، لاحظ ان عملية ضرب

المتجه بالعامل (i) يدوره عكس عقرب الساعة وبزاوية قدرها  $(90^\circ)$  ، بعبارة

اخرى يحول



شكل (7-5)

المتجه (2) من افقي الى عمودي ، والضرب مرتين بالعامل  $(i)$  ( $i^2 = -1$ ) يؤدي الى تدوير المتجه بزاوية قدرها  $(180^\circ)$

لدينا من الرياضيات الاولى :-

$$e^{ix} = \cos x + i \sin x$$

(7-5)

$$Ae^{ix} = A \cos x + i A \sin x$$

وفي الحقيقة يمكن تمثيل الموجات رياضيًا ( بأي شكل من جهتي المعادله (7-5) وان الجهة اليسرى تدعى بالتمثيل الاسي المركب .

المطلوب في الحسابات العملية هو شدة الموجة ( مربع السعة ) وليس السعة ولتسهيل ذلك تمثل الموجة بالدالات الاسية ، حيث ان مجرد ضرب الدالة بالمرافق يعني التربيع في الحساب الاعتيادي ، فمثلا ، مرافق  $Ae^{i\phi}$  هو  $Ae^{-i\phi}$  وبذلك

$$|Ae^{i\phi}|^2 = Ae^{i\phi} \times Ae^{-i\phi} = A^2 \quad (8-5)$$

وهذه هي الكمية المطلوبة للتحليل والتي تسجل على اللوح الفوتوغرافي . لنعد الان الى موضوع اضافة ( جمع ) الموجات المستطيرة من ذرات وحدة البناء البلوري لبعضها حيث تحدد سعة الموجة بالقيمة  $(f)$  و  $\frac{\sin \theta}{\lambda}$  من الذرة المعنية ونقطة الحيود المعنية ، كما يحدد الطور وفق المعادلة (4-5) ، وباستعمال العلاقات اعلاه يمكن التعبير عن اية حزمة مستطيرة بالدالة الاسية للمركبة التالية : -

$$Ae^{i\phi} = f e^{2\pi i (hu + kv + lw)} \quad (9-5)$$

ويرمز لمحصلة الموجات المستطيرة من جميع ذرات وحدة البناء بالحرف  $(F)$  يدعى بعامل البناء ( structure factor ) ويمكن الحصول على هذا العامل بعملية جمع الموجات المستطيرة من الذرات المنفردة في وحدة البناء البلوري

ولنفرض ان وحدة البناء تحتوي على عدد من الذرات 1، 2، 3، 4، N ذرات

احداثيات نسبية  $(u_1, v_1, w_1)$ ،  $(u_2, v_2, w_2)$ ،  $(u_3, v_3, w_3)$ ، ... الخ وعوامل الاستطارة الذرية هي  $f_1$ ،  $f_2$ ،  $f_3$ ، ... الخ .



وبذلك يكون عامل البناء (F) لنقطة الحيود او خط الحيود (hkl) هو

$$F = f_1 e^{2\pi i(hu_1 + kv_1 + lw_1)} + f_2 e^{2\pi i(hu_2 + kv_2 + lw_2)} + f_3 e^{2\pi i(hu_3 + kv_3 + lw_3)} + \dots$$

$$F_{hkl} = \sum_1^N f_n e^{2\pi i(hu_n + kv_n + lw_n)} \quad (10-5)$$

ويمثل الجمع في هذه المعادلة جميع الذرات في وحدة البناء البلورى ويكون العامل (F) بصورة عامة مركب (complex) ، حيث يعبر عن السعة والطور للموجه او الاشعة المحادة ( المستطيرة ) .

القيمة المطلقة للعامل |F| تمثل محصلة سعة الموجات المستطيرة من الالكترونات المنفردة ، ويعرف |F| كما يلي :

$$|F| = \frac{\text{سعة الموجة المستطيرة من جميع ذرات وحدة البناء}}{\text{سعة الموجة المستطيرة من الكترون منفرد}}$$

ان شدة الحزمة او الموجة المحادة من وحدة البناء بالاتجاه الذي يتنبأ به قانون براك هي  $|F|^2$  ( مربع محصلة السعة ) او مربع عامل البناء ، كما يمكن الحصول على مربع (F) نظريا وذلك بعملية ضرب المعادلة (10-5) مثلاً بالمرافق ، وكما ذكرنا ما يسجل على اللوح الفوتوغرافي هو  $|F|^2$  وليس |F| ، اى تسجل الشدة (Intensity)

وليس السعة . ونؤكد هنا ان العلاقة (10-5) هي من اهم العلاقات في علم الحيود من البلورات حيث يمكننا حساب شدة الحيود لاي (hkl) اذا عرفنا مواقع الذرات في وحدة البناء ، وكما يجب ان نؤكد مرة اخرى انه بالامكان ان تتنبأ بحدود ظاهرة الحيود

لاى (hkl) او عدم حدوثها وذلك من العلاقة (10-5)

## 5-5 حسابات عامل البناء : (F)

سنطبق المعادلة (10-5) لحساب عامل البناء لوحداث البناء في بعض الانظمة البلورية .

ان اوسط وحدات البناء هي تلك التي فيها ذرة واحدة ذات احداثيات (000) وبذلك يكون عامل البناء .

$$F = \int e^{2\pi i \cdot (0)} = f$$

$$F^2 = f^2$$

حيث ان  $(F)^2$  تعتمد على  $(hKL)$  وهي نفسها لكل نقاط الحيود او خطوط الحيود في هذه المعادلة .

- لنعتبر الان وحدة البناء في الشكل 1-5 (a) وان في وحدة البناء هذه ذرتين من نفس النوع واحداثياتهما هي :

$$(000) \text{ و } (\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0)$$

$$F = \int e^{2\pi i \cdot (0)} + \int e^{2\pi i (\frac{h}{2} + \frac{k}{2})}$$

$$= \int (1 + e^{\pi i (h+k)})$$

ومن الممكن حساب المعادلة الاخيرة دون اجراء عملية الضرب بالمرافق المركب لان  $(h + k)$  دائما يكون عددا كاملا ، ولذلك فإن  $F$  سيكون ذات قيمة حقيقية وليس مركبة ، فاذا كانت قيم  $h$  ،  $k$  زوجية او احادية ( ليست مختلفة) فيكون حاصل جمعها

عددا زوجيا دائما وبذلك تكون

$$e^{\pi i(h+k)} = 1$$

إذا

$$h, k \text{ تكون اما زوجية في آن واحد او احادية ( ليس خليطا) } \begin{cases} F = 2f \\ F^2 = 4f^2 \end{cases}$$

اما اذا كانت قيم  $h, k$  خليطا ( اى زوجيا وأحاديا فان

$$e^{\pi i(h+k)} = (-1)$$

$$F = 0$$

$$F^2 = 0$$

لاحظ هنا قيمة الدليل (ℓ) لا تأثير له عند حساب عامل البناء ، حيث لنقاط

الحيود ( 111 ) , ( 112 ) , ( 113 ) , ( 021 ) , ( 022 ) , ( 013 ) جميعها  $F = 2f$  وبنفس الطريقة تكون قيمة  $F$  للنقاط

( 103 ) جميعها صفرا ، وهذا يعني لا وجود لنقاط الحيود الاخيرة .

— عامل البناء (F) لوحدة البناء متمركز الجسم ( Body centered cell ) ،

وان لوحده البناء هذه ذرتين من نفس النوع في الموقعين : ( 000 ) ،

(  $\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}$  ) ، ولذلك تكتب المعادلة بالشكل التالي وبذلك يكون

$$F = f e^{2\pi i(0)} + f e^{2\pi i(\frac{h}{2} + \frac{k}{2} + \frac{\ell}{2})}$$

$$F = f [1 + e^{\pi i(h+k+\ell)}]$$

$$F = 2f$$

وبذلك يكون

وعندما تكون قيمة (h+k+ℓ) زوجية ، اى ان

$$F = 0 \text{ , } F^2 = 4f^2$$

عندما تكون قيمة  $(h+k+l)$  فردية ، وهذا يعني ان شدة بقعة الحيود او خط الحيود يكون  $F^2 = 0$

وهذا يعني انه لا وجود للحيود من المستويات ذات الدلائل التي يكون مجموعهما

عددا فرديا

- حساب عامل البناء لوحدة البناء متمركزة الوجة المبينة في الشكل .

( face centered cubic )

وإن وحدة البناء هذه تحوى على اربعة ذرات في الاحداثيات التالية : -

$$(0 \frac{1}{2} \frac{1}{2}), (\frac{1}{2} 0 \frac{1}{2}), (\frac{1}{2} \frac{1}{2} 0), (000)$$

فنكتب علاقة  $F$  بالشكل التالي :

$$F = f e^{2\pi i(0)} + f e^{2\pi i(h/2 + k/2)} + f e^{2\pi i(h/2 + l/2)} + f e^{2\pi i(k/2 + l/2)} \dots\dots\dots$$

$$F = f [1 + e^{\pi i(h+k)} + e^{\pi i(h+l)} + e^{\pi i(k+l)}]$$

فاذا كانت الدلائل  $(hkl)$  جميعها زوجية او احادية ( غير مختلطة ) فيكون مجموع الحدود  $(h+k)$  و  $(h+l)$  و  $(k+l)$  عدادا كاملة وزوجية وان كل حد من

الحدود اعلاه له قيمة تساوي واحدا ، وبذلك يكون

|  |  |               |
|--|--|---------------|
| الدلائل يجب ان تكون جميعها زوجية او احادية |  | $F = 4f$      |
|  |  | $F^2 = 16f^2$ |

واذا كانت الدلائل  $(hkl)$  خليطا من الاعداد الزوجية والاحادية فيكون مجموع

الحدود الاسبية الثلاثة هو  $(-1)$  سواء كان اثنان من الدلائل احادية والاخر زوجيا او اثنان

زوجيان والاخر احاديا

لنفرض ان  $h$  ,  $l$  اعداد زوجية  $k$  احادى مثل ( 012 ) فيكون

$$F = f [1-1+1-1] = 0$$

$$F = 0$$

$$F^2 = 0$$

وبعبارة اخرى لا تحدث ظاهرة الحيود من هذه المستويات ، وهذا يعني عمليا

اننا لا نسجل نقطة حيود او خط حيود يعود الى المستويات الذرية ذات الدلائل (012)

وهذه الحسابات والتنبؤ يفيدنا كثيرا في لنواحي العملية ، عندما تأتي لتعيين دلائل

ميلر لكل نقطة حيود او خط حيود في النظام اعلاه ، فأنا نتوقع نقاط الحيود من المستويات

$$(111) , (200) , (220) \text{ وليس من } (100) , (210) , (112)$$

وهناك نقطة مهمة يجب ان نستنتجها من حساباتنا اعلاه ، هي ان عامل البناء

(F) لا يعتمد ( يكون مستقلا ) على شكل وحجم وحدة البناء البلورى

( F is independent of the shape and size of the unit cell ) .

ولتوضيح ماتقدم اكثر:

نأتي بالمثال التالي ، لا نحصل على اية نقاط او خطوط حيود للمستويات ( hkl ) في

وحدة بناء متمركزة الواجهه عندما يكون ( hkl ) عددا فرديا وبغض النظر عن كون وحدة

وحدة البناء هذه مكعبة الشكل اورباعية او ثلاثية اومعينية .

ولتعميم الفائدة نلخص حساباتنا الآتفة في الجدول (1-5) .

جدول 5 - 1

| نوع وحدة البناء | الحيود الموجود        | الحيود الغائب   |
|-----------------|-----------------------|-----------------|
| بسيط            | جميع النقاط او الخطوط | لا يوجد         |
| متمركز القاعدة  | $k, h$ غير مختلط      | $k, h$ مختلط    |
| متمركز الجسم    | $(h+k+l)$ زوجي        | $(h+k+l)$ فردي  |
| متمركز الواجهه  | $l, k, h$ غير مختلط   | $l, k, h$ مختلط |

في الحقيقة ان القواعد التي ذكرت في الجدول اعلاه تحتاج الى بعض التحيزات في الحالات الخاصة ، حيث ان بعض وحدات البناء قد تحوى على عدد من الذرات اكثر مما ذكرت في الامثلة (1-4) ، وقد تكون احداثيات هذه الذرات في وحدة البناء (مواقعها) بشكل يودى الى عدم حدوث الحيود من المستويات التي كان يحدث منها ، وعلى سبيل المثال ، بلورة الماس لها وحدة بناء متمركزة الواجهه (fcc)

ولكن تحوى على ثمانى ذرات لكل وحدة بناء ويحدث الحيود من جميع المستويات الذرية ذات دلائل ميلر غير المختلطة ( اما مجموعها فزوجى اوفردى) ، ومع ذلك فأن نقاط الحيود من المستويات (200) ، (222) ، (420) ... الخ غير موجودة في بلورة الماس .

فالحقيقة التي تبرزهي ان جميع نقاط الحيود ذات مجموع الدلائل غير المختلطة تدل على ان البلورة متمركزة الواجهه ( Face centered ) وغياب البعض بالرغم من توفر هذا الشرط ، يدل على الترتيب الخاص للذرات داخل وحدة البناء .

ويمكن تلخيص ما تقدم في دراسة المثال الكلاسيكي للبناء البلورى لمادة كلوريد الصوديوم ( NaCl ) .

- عامل البناء (F) لبلورة NaCl :

وحدة البناء في هذه البلورة هي مكعب متمركزه الواجهه (fcc) يحوى على 4 ذرات من Na ، 4 ذرات من Cl واجد اثبات هذه الذرات في وحدة البناء هي .

$$Na \quad (000) , (\frac{1}{2} \frac{1}{2} 0) , (\frac{1}{2} 0 \frac{1}{2}) , (0 \frac{1}{2} \frac{1}{2})$$

$$Cl \quad (\frac{1}{2} \frac{1}{2} \frac{1}{2}) , (00 \frac{1}{2}) , (0 \frac{1}{2} 0) , (\frac{1}{2} 00)$$

لدينا هنا نوعان من الذرات Na ، Cl ، ولذلك يجب ان نستعمل عامل الاستطارة الذرى لكل من هاتين الذرتين في مواقعهما الصحيحة في معادلة حساب عامل البناء

(F) ، اذا تم ذلك نحصل على :

$$F = f_{Na} e^{2\pi i(0)} + f_{Na} e^{2\pi i(h/2 + K/2)} + f_{Na} e^{2\pi i(h/2 + \ell/2)} \\ + f_{Na} e^{2\pi i(K/2 + \ell/2)} + f_{cl} e^{2\pi i(h/2 + K/2 + \ell/2)} + \\ f_{cl} e^{2\pi i(h/2)} + f_{cl} e^{2\pi i(K/2)} + f_{cl} e^{2\pi i(\ell/2)} \\ F = f_{Na} [1 + e^{\pi i(h+K)} + e^{\pi i(h+\ell)} + e^{\pi i(K+\ell)}] + \\ f_{cl} [e^{\pi i(h+K+\ell)} + e^{\pi i\ell} + e^{\pi iK} + e^{\pi ih}]$$

تخضع ذرات الصوديوم وكذلك الكلور للنقل المتجه لوحدة البناء ذات الوجة المتمركزة (fcc) ، وهذا يعني بالامكان اخراج العوامل المشتركة من بين الاقواس وهذا يسهل الامر كثيرا ، حيث

$$F = [1 + e^{\pi i(h+K)} + e^{\pi i(h+\ell)} + e^{\pi i(K+\ell)}] \\ [f_{Na} + f_{cl} e^{\pi i(h+K+\ell)}]$$

الحد الاول يقابل ناقلا متمركز الوجة (face-centring translation)

وهذا الحد يساوي الحد يساوى صفرا للدلائل المختلطة و (4) للدلائل غير المختلطة وان هذه الحقيقة لوحدها تبين ان بلورة NaCl هي متمركزة الوجة اى ان للدلائل المختلطة

$$F = 0$$

$$F^2 = 0$$

وبالنسبة للدلائل غير المختلطة ( اما زوجية او فردية ) فان

$$F = 4 [f_{Na} + f_{cl} e^{\pi i(h+K+\ell)}]$$

$$F = 4 [f_{Na} + f_{cl}]$$

ومن شرط  $(h + K + L)$  يساوى عددا زوجيا وبذلك فإن

$$F^2 = 16 (f_{Na} + f_{ce})^2$$

وإذا كان الحد  $(h + K + L)$  يساوى عددا فرديا فإن :

$$F = 4 (f_{Na} - f_{ce})^2$$

$$F^2 = 16 (f_{Na} - f_{ce})^2$$

وفي هذه الحالة يكون عدد الذرات لوحدة البناء أكثر من أربع ومع ذلك تبقى وحدة البناء متمركزة الواجهة مع ان الواجهة مع ان عدد الذرات ازدادت الى أكثر من أربع في وحدة البناء ، ولم يؤد ذلك الى عدم حدوث الحيود من بعض المستويات ولكن أدت هذه الزيادة في عدد الذرات الى نقصان في شدة بعض نقاط او خطوط الحيود ، وعلى سبيل المثال ، تتعين شدة نقطة الحيود (111) بواسطة الفرق بين بين حدين وليس الجمع كما مبين اعلاه .

### 6/5 التأثير الحراري : Temperature effect

لقد اجرينا حسابات عامل البناء  $(F)$  مع عدة امثلة في انظمة البناء البلوري وبالطبع فإن مربع  $(F)$  يعطينا الحيود لزاوية معينة (لنقطة او خط حيود معينة)، والسؤال الذي يطرح نفسه هو هل ان لقياس العملي لشدة الحيود يكون هو نفسه الذي نحصل عليه من الحسابات النظرية « الجواب قطعاً لا » حيث ان هناك فرقا بين النتيجةين ويزداد هذا الفرق كلما كبرت زاوية الحيود ، أي كلما كان العدد  $(n)$  أكبر ولا بد ان نذكر ان القيمة التي نحصل عليها عمليا هي اقل من القيمة النظرية للشدة وهذا الفرق يأتي من الحقيقة الفيزيائية التي تختصر شرحها : -  
لقد فرضنا في كل مناقشاتنا السابقة ان الذرات المكونة للبلورة هي في حالة سكون تام ، وهذا الغرض مناقض للحقيقة ، حيث ان للذرات طاقة حرارية تجعلها تتذبذب حول موقعها بتردد عال جدا .

كيف يمكن ان نحسب تأثير هذا العامل او نصحح الخطأ الناتج ؟  
يجب ان نفرض بأن الذرة نتيجة لتذبذبها تحتل حجما أكبر من الحجم الذي تحتله في حالة سكونها ، مع ان الذرة تتذبذب بتردد عال  $(10^{12} \text{Hz})$  الا انها تبدو بطيئة



الحركة مقارنة بتردد الاشعة السينية ( $10^{18}$  Hz) وهذه الحركة النسبية تجعل الذرات تظهر بالنسبة للاشعة الساقطة (الاشعة السينية) وكأنها مزاحة من موقعها .

في الحقيقة ، ان التأثير الحراري ليس بالسهولة التي قد تبدو فالذرات تبقى مرتبطة ببعضها بواسطة القوى البينية للذرات بالرغم من انها تبدو مزاحة حيث ان هذه الازاحة ليست بالعشوائية . ( ولسهولة المناقشة نقول ان ارتباط الذرات ببعضها تكون بواسطة قوى مرنة ) .

وهذه المرونة تحكم بمعامل ينك (young's modulus) ومعامل الصلادة وغيرها ، ولذلك تستعمل تجارب الحيود لتعيين الخصائص الميكانيكية للمواد (المرونة) بدقة كبيرة .

وكلما قلنا ان التأثير الحراري يقلل شدة الحيود كلما كبرت زاوية براك حيث تنقل الشدة بعامل مقداره  $(\cos \theta)$  ، ولذلك تكون معدل شدة الحيود متناسبة مع  $(1 + \cos^2 \theta)$  وهناك جداول قياسية تحوي معاملات التصحيح كدالة للزاوية  $(\theta)$  ولذلك يجب تقسيم القيمة العملية على هذه الدالة للحصول على نتائج اقرب الى الدقة . ولا بد ان نذكر هنا ان الجداول تفرض الى النموذج كان في درجة حرارة الغرفة عند تسجيل نمط الحيود منه .

وللحصول على نتائج صحيحة من التجارب العملية بصورة مباشرة ودون اللجوء الى جداول التصحيح ، يجب اجراء التجارب عند درجات الحرارة المنخفضة للنموذج ( درجة حرارة سائل النايروجين مثلاً ) ان تجميد النموذج الى درجة حرارة سائل النايروجين يؤدي الى تقليل تذبذب الذرات ، وبعبارة اخرى تجعلها ساكنة الى درجة ما (لا يوجد سكون تام حتى عند الاقتراب من درجة حرارة الصفر المطلق) .

## 7.5 بعض التطبيقات لحيود الاشعة السينية

### Application of X - ray diffraction

#### 1.7.5 - تعيين البناء البلوري :

منذ سنة 1913 ولحد الآن تم تعيين ودراسة حوالي خمسة الاف بناء بلوري

لمواد مختلفة ، منها المواد العضوية وغير العضوية وسبائكها ، والمعلومات عن البناء

البلوري مهمة جدا في مجالات عدة ، منها فيزياء الحالة الصلبة وكيمياء البلورات

والعلوم البايولوجية ، ناهيك عن اهمية معرفة البناء البلوري في علم المعادن لفهم ظاهرة

اللدونة(plasticity)والسبانك والتحويلات الطورية(plaser transformation)

لقد شرحنا في الفصول السابقة اهم القواعد التي تساعد في فهم وتعيين البناء

البلوري ، وكان واضحا ان البناء البلوري يحدد نمط الحيود وبعبارة اخرى شكل وحجم

وحدة البناء يحددان الموقع الزاوي لنقاط او خيوط الحيود ، وترتيب الذرات في وحدة البناء

مسؤولة عن الشدة النسبية لنقاط او خطوط الحيود ، ويمكن صياغة هذه المفاهيم في

في الجدول التالي :

| البناء البلوري | نمط الحيود |
|----------------|------------|
|----------------|------------|

|                         |                      |
|-------------------------|----------------------|
| وحدة البناء (unit cell) | الموقع الزاوي للحيود |
|-------------------------|----------------------|

|                                |                         |
|--------------------------------|-------------------------|
| احداثيات الذرات في وحدة البناء | شدة نقاط او خطوط الحيود |
|--------------------------------|-------------------------|

ولتعيين البناء البلوري المجهول ، يجب ان نتبع الخطوات الثلاث الرئيسية

التالية :

- 1- يعين شكل وحجم البناء (unit cell) من المواقع الزاوية (angular position) لخطوط الحيود (نقاط او خطوط الحيود) . حيث يجب ان نفرض مقدما نظام تبلور النموذج ( هناك سبعة انظمة اشرنا اليها في الفصول الاولى ) ، وبعد هذه الفرضية نعلم كل نقطة حيود او خط حيود بدلائل ميلر الخاصة بها (indexing) ،

وتتم هذه العملية بصورة صحيحة عند اختبار النظام البلوري الصحيح ، وبذلك يمكن تعيين شكل وحدة البناء وحجمها من المعادلات البسيطة التي سبق وان اشتقت بالتفصيل .

2 - كما يمكن ان تعين عدد الذرات في وحدة البناء البلوري من المعلومات حول حجم وشكل وحدة البناء ، وكذلك بالاستعانة بالتركيب الكيميائي لمادة البلورة ، بالإضافة الى شدة (intensity) النقاط او خطوط الحيود .

3 - تعيين احداثيات او مواقع الذرات في وحدة البناء البلوري عادة من الشدة النسبية لنقاط او خطوط الحيود .

هذه هي الخطوات الثلاث الرئيسية التي يجب ان نتبعها في حالة تعيين البناء البلوري المجهول ، ولا بد ان ننبه هنا الى ان الخطوة الثالثة هي من اصعب الخطوات ونتيجة لذلك كان تعيين كثير من البناء البلوري للمواد غير كامل ، لذلك تظهر بحوث بين وقت واخر ، نعيد النظر في تعيين البناء البلوري لبعض المواد ، وتدعى هذه الدراسات (Refinement studies) وبالرغم من ذلك ، فان مجرد معرفة حجم وشكل وحدة البناء وثوابت البلورة هي ذات قيمة تطبيقية عظيمة .

ومثال على ذلك ، لا يحاول الاختصاصيون في علم المعادن في تعيين البناء البلوري بصورة تامة وانما يكتفون بالمعلومات العامة على حجم وشكل وحدة البناء واما تعيين البناء الكامل فهي من مهمات الاختصاصيين في علم البلورات . حيث يحاولون ايجاد طريقة ونظرية جديدة وحساب حجم المادة لتعيين البناء الكامل .

والشيء الذي يجب ان يعرفه فيزيائي الحالة الصلبة والمعنون في علم المعادن هو ان يعينوا بعض البناء البلوري البسيط من معلومات الحيود وكذلك يجب ان يلموا بتعيين الدلائل (Indexing) لنقاط او خطوط الحيود في نمط الحيود من بلورة معروفة

2.7.5 تعيين الدلائل لنقاط او خطوط نمط الحيود لبلورة من النظام المكعبي

#### Indexing pattern of cubic crystals

ان البلورات ذات النظام المكعب تنتج نمط حيود ( نقاط او خطوط) وان

قيمة مربع دالتها الجيبية ( $\sin^2 \theta$ ) تحقق المعادلة التالية : -

$$\frac{\sin^2 \theta}{h^2 + K^2 + \ell^2} = \frac{\sin^2 \theta}{3} = \frac{\lambda^2}{4a^2}$$

وبما ان  $S^2 = (h^2 + K^2 + \ell^2)$  ، تساوي عددا كاملا في جميع

الحالات .

والكمية  $\frac{\lambda^2}{4a^2}$  هي كمية ثابتة لكل انماط الحيود ، لذلك فإن اعطاء دلائل

ميلر لنقاط الحيود من بلورة مكعب النظام غاية في البساطة ، اذ ان كل ما في الامر

هو ايجاد مجموعة ثوابت (a) التي تحقق المعادلة السابعة وخصوصا القيمة المقاسة لمربع

جيب الزاوية  $\sin^2 \theta$  ويمكن ان نتنبأ الاعداد الكاملة التي تحقق المعادلة . مثال على ذلك ،

ان الاعداد 7، 15، 23، 28 .... الخ تكون خارج مجال المحاولة حيث لا يمكن

على هذه الاعداد من جمع مربعات ثلاثة اعداد كاملة ( حاول بنفسك ) وعند ايجاد

قيمة (S) الصحيحة يمكن توزيعها على (hkl) بسهولة ( سنحاول اعطاء امثلة عملية

في الفصول القادمة ) .

ان قيمة (S) لنقاط او خطوط الحيود من الانواع الثلاثة للنظام التكعيبي وعلى

سبيل المثال ، المكعب البسيط (Sc) 1, 2, 3, 4, 5, 6,

8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16.

متمركز الجسم (BCC) 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 ....

متمركز الوجة (FCC) 3, 4, 11, 12, 16 .....

بناء بلورة الماس (Diamond cubic) 3, 8, 11, 16

ولغرض التوسع في موضوع تعيين الدلائل لانماط الحيود من البلورات ذات الانتظمة

النختلفة (غير المكعب) فننصح القاريء الرجوع الى Philips, Gulitty .

سؤال - خصصنا على نمط الحيود لـ مسحوق الألمنيوم (Powder pattern of aluminum) باستعمال الأشعة السينية (CU  $k_{\alpha}$ ) خطوط الحيود في نمط الحيود ذات مواقع زاوية قيمة مربع جيبها (  $\sin^2 \theta$  ) هي 0.872, 0.981  $\sin^2 \theta$  : , 0.118, 0.1487, 0.294, 0.403, 0.403, 0.403 0.439, 0.583, 0.691, 0.727, جد دلائل ميلر لخطوط الحيود اعلاه واحسب ثوابت البلورة.

## الفصل السادس

---

## الفصل السادس

### بعض التطبيقات العملية للحيود

#### 1.6 تعيين مخطط الطور Phase-Diagram determination

السيبكية هي عبارة عن تركيب يتكون من عنصرين أو أكثر من العناصر المعدنية أو العناصر غير المعدنية ، وتتكون السيبكية كما هو معروف من طور واحد (Single phase) أو خليط من الأطوار mixture of phases وقد تكون هذه الأطوار من أنواع مختلفة ، يعتمد ذلك على عدة عوامل مثل التركيب Composition ، درجة الحرارة وعندما تكون السيبكية في حالة التوازن equilibrium ، ويكون بالامكان ان نبين التغيرات نتيجة لتغير التركيب أو درجة الحرارة على مخطط الطور (phase diagram) ، وبصورة عامة يتكون الطور من رسم درجة الحرارة كذلك لتركيب السيبكية ( النسبة المئوية للعناصر المكونة للسيبكية ) ، ويتكون مخطط الطور من عدة مناطق مميزة ، فهي اما اطوار منفردة او خليط من الاطوار متواجدة في حالة التوازن .

ولا نريد هنا ان نبين الاهمية العظيمة لمخطط الطور بالنسبة للعاملين في حقل المعادن او علم المادة بصورة عامة ، حيث بذلت جهود عظيمة في تعيين مخطط الطور للسبائك الثنائية او النهائية وبطرق مختلفة .

مثل التحليل الحراري او باستعمال المجهر الضوئي ، فاستعمال طريقة حيود الاشعة السينية تعتبر خطوة جديدة متطورة ومكملة لهاتين الطريقتين أضافة الى أن حيود الاشعة السينية تعطي بعداً آخر ، حيث يمكن معرفة البناء البلوري للمواد في اطوارها المختلفة ( يختلف البناء البلوري للمواد باختلاف مخطط درجة الحرارة مثلاً )

تختلف كفاءات الطرق المختلفة لتعيين مخطط الطور المختلفة في الطور فمثلاً طريقة

طريقة التحليل الحراري جيدة جداً لتعيين حدود الانجماد (Solidus) وحدود الانصهار

(Liquidus) ، وكذلك تكون هذه الطريقة ملائمة لتعيين اقصى اليوتكتية

(eutectic) ولكن تفشل هذه الطريقة لتعيين البريتكتويد والبريتكتويد نتيجة لتأثير

بعض التفاعلات في الحالة الصلبة أو الحرارية ، بينما تبرز طريقة حيود الاشعة السينية

كأداة ممتازة لتعيين مخطط الطور بكل تفاصيله ، وبالرغم من ذلك يجب عدم

الاعتماد على طريقة واحدة ، وانما اعتماد الطريقة الملائمة للمسألة المعينة

## 2.6 المبادئ العامة : General principle

ان الحقيقة التي اكدنا عليها سابقا ، والتي تعتبر المفتاح في تفسير نمط الحيويد للمسحوق هي ان لكل طور من المادة نمط حيويد خاصا بذلك الطور ومميز ، ولا يتأثر بوجود طور اخر او غيابه ، حيث ان نمط الحيويد لمادة ذات طور منفرد يكون منفردا (Single pattern) ، والحيويد من مادة ذات طورين مثلا يتكون من نمطين متراكبين ، حيث ان كل نمط يعود لطور معين يمكن تشخيصها بسهولة ، لنفرض على سبيل المثال ان المعدنين  $A$  و  $B$  يذوبان بصورة تامة ببعضها في الحالة الصلبة  $\alpha$  ( ويدعى بطور السائل الصلب المستمر ) وهو من نوع الاحلال (Substitutional type) ، حيث يكون متغيرا بالتركيب ولكن يحتفظ بنفس البناء البلوري ، من  $A$  الى  $B$  نقبي وبالطبع للمعدن  $A$  بنفس البناء البلوري للمعدن  $B$  ، وبعبارة اخرى البناء البلوري لخليط من  $B$  و  $A$  وبأي نسبة يبقى هو نفسه لأي منها .

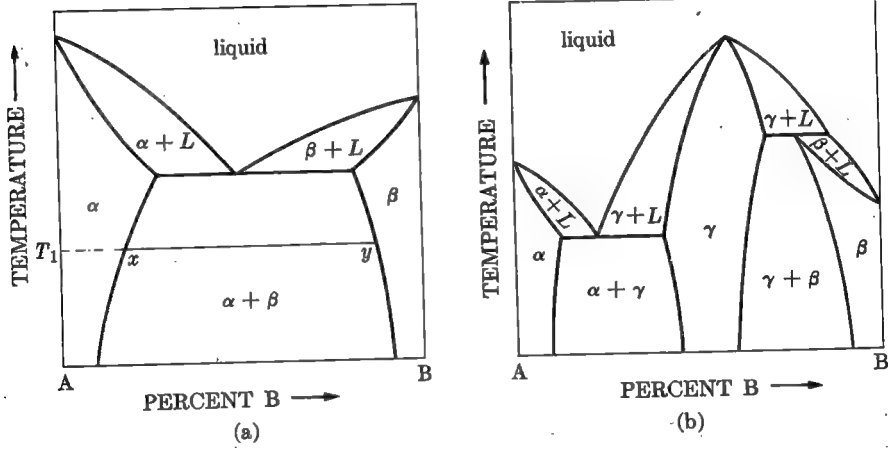
ومع ان السائل الصلب للمعدنين  $A$  و  $B$  يحتفظ بنفس البناء البلوري الاصيلي لهذين المعدنين ، فان ثوابت وحدة البناء ، بالاحرى عوامل البلورة تختلف باختلاف التركيب النسبي للمعدن  $A$  في  $B$  أو بالعكس وهذا يعني أن نمط الحيويد يبقى نفسه من ناحية الشكل العام ، ولكن تتراح خطوط الحيويد بنسبة تغيير عوامل البلورة .

ولنأخذ حالة عامة يكون فيها المعدنان  $A$  و  $B$  ذائبين في بعضهما جزئيا في الحالة الصلبة ، عند اضافة  $B$  الى  $A$  يتكون سائل صلب من البناء البلوري للمعدن  $A$  ، وقد تتمدد شبكة البناء البلوري للمعدن  $A$  او نقلص نعتمد على حجم ذرات  $B$  و  $A$  وكذلك على نوع سائل الصلب الذي سيتكون ( هل هو من نوع الاحلال او التركيب البيتي مثلا ) ، وعند الاستمرار في اضافة  $A$  الى  $B$  تصل الى غاية او حد ذوبان  $B$  في  $A$  ، وعند ذلك يبدأ تكون او ترسب طور اخر ، وهذا الطور الجديد قد يكون مشبعا بالمعدن  $B$  (B-rich) وله نفس البناء البلوري كما للمعدن  $B$  .

السائل الصلب  $\alpha$  و  $\beta$  يعرفان بالسائلين الصلبين الاولين (primary solid solution) في الشكل ( 1-6 )<sup>a</sup> وقد يظهر طور ثان لا علاقة له بالسائل



الصلب المتبع بالمعدن B ، كما في الشكل ( 1-6 )<sup>b</sup> وهنا ظهر طور آخر  $\delta$  والذي هو عبارة عن حالة فوق الاشباع للطور  $\alpha$  بالمعدن B ، الطور  $\delta$  يدعى بالطور الوسطي .  
(intermediate phase) والبناء البلوري لهذا الطور يختلف عن البناء البلوري للطور  $\alpha$  و  $\beta$  ، ويكون منفصلا عن الاطوار الاخرى في مخطط الطور بمنطقتين أو أكثر من مناطق الاطوار كما هو مبين في الشكل .



شكل (1-6)

هناك مخططات اطوار اكثر تعقيدا مما نقدم بكثير تلاقيها في الحياة العملية ولحسن الحظ يمكن اختزالها الى انواع بسيطة جدا .

وعند فحص مخطط الطور لسبيكة مجهولة ، يكون من الافضل ان ننظر للنظام ككل في بادئ الامر ، وذلك يأخذ عينات ( سباتك ) ذات تركيبات مختلفة ( بنسب مئوية مختلفة من B,A ) تتراوح هذه العينات بين A نقي و B نقي ، وتدرس

انماط الحبيود لهذه العينات المختلفة المختلفة بضمنها نمطا الحبيود للمعدن النقي A والمعدن النقي B ومن انماط الحبيود هذه يمكن تعيين مخطط الطور ، بمراعاة النقاط او المبادئي التالية ٢ -

١ - التوازن : - يجب ان تكون السبيكة في حالة توازن عند درجة الحرارة التي فيها يعين مخطط الطور .

٢ - تسلسل الاطوار : - يجب ان يمر الخط الافقي في مخطط الطور ( الذي يمثل درجة حرارة ثابتة ) من منطقة طور منفرد ومنطقة ثنائية الطور بشكل متعاقب .

منطقة الطور المنفرد : - (Single phase region)

ان التغير في التركيب في هذه المنطقة يؤدي الى تغير في عوامل ( ثوابت) البناء البلوري ، وبعبارة اخرى يؤدي الى ازاحة في خطوط الحبيود الخاص بهذا الطور .

- منطقة ثنائي الطور : - (Two phase region) في منطقة ثنائي الطور

(في مخطط الطور) ، يؤدي التغير في تركيب السبيكة الى تغير في نسبة وجود الطورين ولا يؤدي الى تغير في تركيبهما ، لذلك يكون نمط الحبيود لكل طور واضحا ومتراكبا من الطور الاخر .

لناخذ مخطط الطور لسبيكة نظرية ( فيها بعض الخواص العامة ) وليكن هذا المخطط كما في الشكل (6-2) ، والمطلوب هو الحصول على نمط الحبيود ( بأستعمال الاشعة السينية ) من ثماني مناطق في هذا المخطط وهذا يعني من ثماني سبائك ذات تركيبات مختلفة ، وقد عملت هذه المناطق بالارقام من 1 - 8 على المخطط ، ولقد فرضنا بأن مجمل النظم في المخطط أعلاه هو في حالة التوازن عند درجة حرارة الغرفة ( بواسطة التبريد البطيء ) لنضع نتائج الحبيود بشكل تخطيطي اسفل المخطط

الشكل (6 - 30)

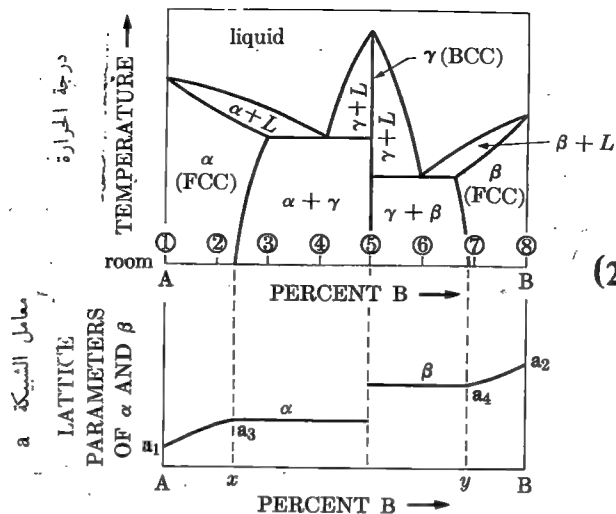
وعند نفحص نتائج الحبيود نستنتج ما يلي : -

(1) يبين النمط من المعدن النقي A ، ان هذا المعدن هو ترتيب بلوري من نظام مكعب

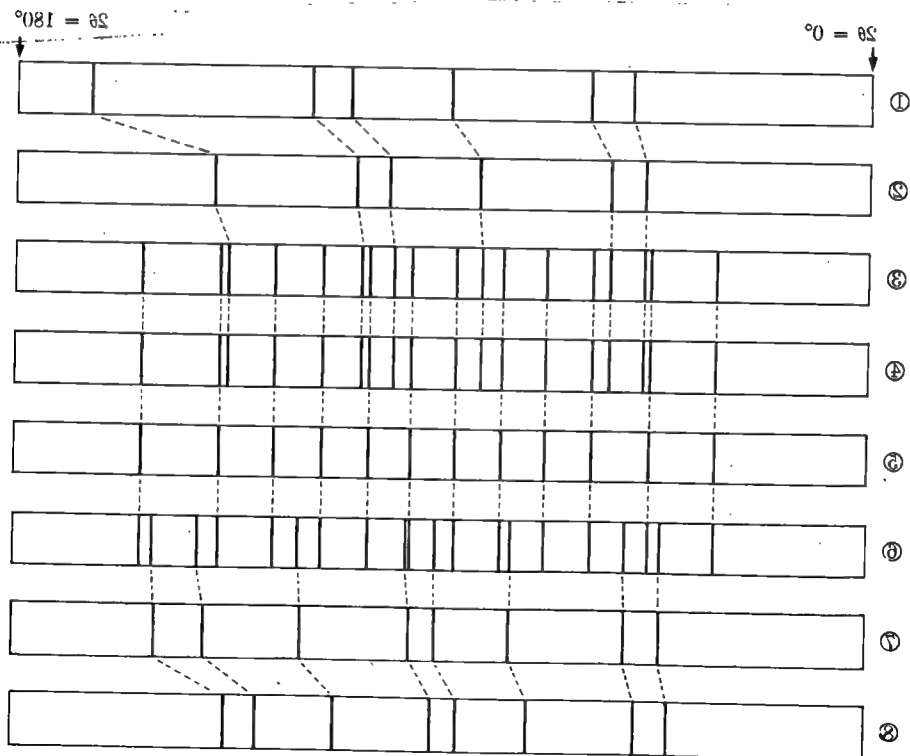
ذي الاوجة المتركة (Fcc)

(2) يبين نمط الحبيود من B ان هذه السبيكة مشبعة بالمعدن B وقد تمددت

شبكة البلورة مؤدية الى ازاحة خطوط الحبيود نحو قيمة الراوية (20) الصغرى



شكل (2-6)



شكل (3-6)

(3) نمط الحبيود من  $\alpha$  و  $\beta$  متراكبين (Superimposed)

(4) يبين نمط الحبيود ان للسبيكة ( $\delta$ ) تركيا بلوريا يعود للنظام المكعب المتمركز الجسم (Bcc)

(5) انماط الحبيود من  $\delta$  و B متراكبين

(6) يبين نمط الحبيود من المعدن النقي (B) ان لهذا المعدن تركيا بلوريا يعود النظام اكعب المتمركز الواجه (Fcc) .

هناك الكثير الذي يمكن ان نناقشه او نستنتجه من نتائج تجارب الحبيود في في مجال تعيين مخطط الطور ، ولكن يأخذ ذلك حيزا كبيرا قد يعطي الانطباع اننا نبحت في موضوع فيزياء المعادن .

ولا بد للمهتمين بهذا الموضوع ان يعودوا الى المرجع (Gulitty) على سبيل المثال .

من تطبيقات الحبيود المهمة الاخرى التي اسهمت في فهم المادة على المستوى

الذري والجزيئي ، ومن ثم وضع المواد الصحيحة للتطبيق التكنولوجي الصحيح هي

للكشف عن التحولات البنائية المنتظمة ( البلورية الى البناء غير المنتظم نسبياً (disorder)

وبالطبع تحدث هذه التحولات نتيجة لارتفاع درجة حرارة السبيكة ، كما سنأتي

لشرحها بعد قليل ، ويجب الاتفوتنا ان نقول ان تحول السبائك او المواد من بناء الى

اخر وخصوصا البناء البلوري الى البناء غير المنتظم نسبياً

( Order - Disord or Transformation )

يؤدي الى تغيرات في خواص هذه السبائك الفيزيائية والميكانيكية وغيرها ومن

هنا تأتي اهمية دراسة هذه التحولات البنائية بدقة كبيرة وذلك بأستعمال تكنيك

حيود الاشعة السينية مثلاً .

ولنأت بمثال على هذه التحولات قبل الدخول في التفاصيل : - من المعلوم ان معظم السوائل الصلبة من النوع الاحلالي (Substititutional solid solutions) تحوي على نوعين من الذرات A و B ، وتكون هذه الذرات مرتبة بشكل عشوائي تقريبا في موقع الذرات للشبيكة البلورية ، وفي هذا النوع من السائل الصلب يكون التأثير الوحيد لارتفاع درجة حرارة الشبيكة هو زيادة في سعة (Amplitude) تذبذبات الذرات حول موقعها ، وعند انخفاض درجة الحرارة يحدث العكس ، وهناك بعض السوائل الصلبة تكون ذات تركيب منتظم يتحول الى تركيب غير منتظم نسبيا في درجات الحرارة العالية فقط ، على كل حال عند تبريد مثل هذه السبائك تحت درجة حرارة قلقة مثل  $T_c$ ، تعيد الذرات تركيب نفسها (B,A) وبشكل دوري ، اي يتكون البناء البلوري المألوف حيث ترتيب الذرات A في مستويات ذرية معينة وكذلك الذرات من نوع B ، حين ذلك نقول ان السائل الصلب ذو تركيب منتظم ويمتاز بالشبيكة الفائقة (Super lattice) وعندما يستمر تركيب الذرات لمسافة كبيرة نسبيا في البلورة ، نقول ان البناء مرتب بمدى طويل (long - range order) . وعند ارتفاع درجة حرارة الشبيكة مرة اخرى فوق  $T_c$  يفقد التركيب ترتيبه مرة اخرى ويكون غير مرتب ،

(Disorder)

### 3.6 الترتيب ذو المدى الطويل لسبيكة الذهب - النحاس .

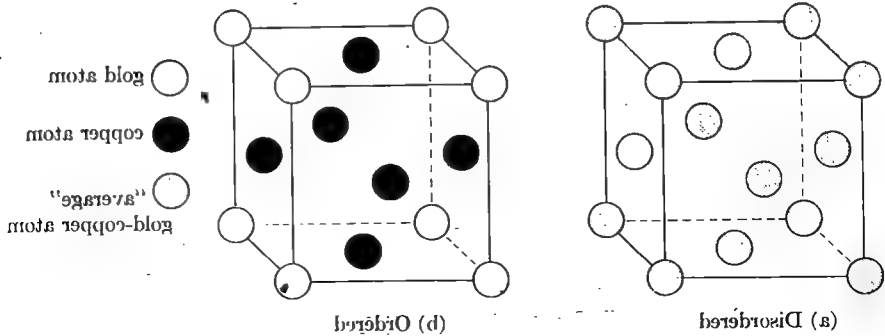
Long - range in  $\text{AuCu}_3$  تكون ذرات النحاس او الذهب مرتبة

بشكل عشوائي في موقع الذرات في الشبكة البلورية عند درجة حرارة  $395^\circ\text{C}$  فما فوق ، وتدعى درجة الحرارة هذه بالدرجة القلقة ، ، وان وحدة البناء في هذه السبيكة هي مكعب ذو متركز الأوجه والشكل ( 4-6 )<sup>a</sup> يوضح ان التركيب العشوائي للذرات الذهب والنحاس في مواقع الذرات في الشبكة البلورية .

فإذا كان عدم التركيب كاملاً **Disorder is complete** فيكون بالمقابل

احتمال وجود ذرة الذهب في اي موقع من مواقع الذرات في وحدة البناء يساوي  $\frac{1}{4}$  ، وهذا هو نسبة وجود ذرات الذهب في السبيكة ، وان احتمال كون هذه المواقع محتلة من قبل ذرات النحاس يساوي  $\frac{3}{4}$  ، وهذا هو نسبة وجود النحاس في السبيكة ، وحيث

ان هذه الاحتمالات تكون صحيحة لكل موقع من مواقع الذرات في وحدة البناء ، وعند اعتبار وحدة البناء ككل ، فنأخذ معدل احتمال وجود أية ذرة من الذرات ، كما في الشكل (4-6)<sup>a</sup> عندما يكون الترتيب كاملاً (الشكل (4-6)<sup>b</sup> ، حيث تحتل ذرات الذهب زوايا المكعب فقط ، وتكون ذرات النحاس في مراكز الاوجة ، كما هو



شكل (4-6)

واضح في الشكل حيث ان وحدتي البناء **a** و **b** هما مكعبان ولهما نفس الثوابت ( العوامل ) .

واذا أخذنا مستوى ما من البناء البلوري في الشكل (4-6)<sup>a</sup> فيكون ترتيب الذرات كما في الشكل (4-6)<sup>b</sup> يمثل البناء في حالة الترتيب التام المشار اليه في الشكل (4-6)<sup>b</sup> لقد وجدنا ان الكثير من السبائك الاخرى لها نفس ترتيب سبيكة الذهب - النحاس مثل  $PtCu_3$  ،  $FeNi_3$  ،  $MnNi_3$  ، و  $(MnFe)Ni_3$  ما هي الفروق التي سلاحظها بين نمط الحيود للبناء المرتب (order) وللنمط من البناء غير المرتب (disorder) للسبيكة  $AgCu$  مثلا ؟ نظرا لعدم حدوث اي تغيير في شكل وحدة البناء عند التحول من البناء المرتب وبالعكس وكذلك عدم وجود تغيير في الجسم ، لذلك لا نتوقع أية تغيرات في المواقع الزاوية لبقع او خطوط الحيود .  
(position of diffraction Lines) ولكن هناك تغيرات في ترتيب الذرات ضمن وحدة البناء ، وهذا بالطبع يؤثر في شدة بقع او خطوط الحيود وان التغير في شدة نقاط الحيود او خطوط الحيود .

يمكن التنبؤ بها من حساب عامل البناء (F) لكل ترتيب ذري على حدة ولنبدأ في حساب (F) للبناء غير المرتب .

أ - البناء غير المرتب (disorder)

معدل معامل الاستطارة الذري لذرتي الذهب والنحاس (fau)

$$f_{Au} = f_{Au} + f_{Cu} = \frac{1}{4} f_{Au} + \frac{3}{4} f_{Cu} \quad \text{هو :}$$

( حيث ان نسبة وجود ذرات الذهب هو  $\frac{1}{4}$  ونسبة وجود ذرات النحاس هو  $\frac{3}{4}$  في السبيكة ) .

هناك أربع ذرات في وحدة البناء ( كمعدل ، كما في الشكل (4-6) متواجدة

في المواقع ذات الاحداثيات

$$\frac{1}{2} \frac{1}{2} 0 , \frac{1}{2} 0 \frac{1}{2} , 0 \frac{1}{2} \frac{1}{2}$$

وبذلك يكون عامل البناء (F) كما يأتي :

$$F = \sum f e^{2\pi i(hu + kv + lw)}$$

$$F = f_{Au} [1 + e^{\pi i(h+k)} + e^{\pi i(h+l)} + e^{\pi i(k+l)}]$$

$$F = 4f_{Au} = (f_{Au} + 3f_{Cu})$$

هذه في حالة كون ( h k l ) غير مختلطة ( اما فردية او زوجية ) بالنسبة للدلائل

$$F = 0 \quad - \quad \text{المختلطة : } (h k l)$$

ومن هذا نستنتج ان السبيكة التي تكون فيها الذرات غير مرتبة ( disorder )

تعطينا نمط حيود مشابهاً للنحاس الذي نحصل عليه من متمركز الواجه (Fcc) مثل نمط

الحيود من الذهب او النحاس النقي ، حيث لا يوجد خط او بقعة حيود ذات دلائل

ملر المختلطة

(Complete order)

ب - البناء المرتب الكامل



تحتوي وحدة البناء في هذه الحالة على ذرة ذهب واحدة ذات احيات (000) ثلاث ذرات من Cu في المواقع التالية :  
 $\frac{1}{2} \frac{1}{2} 0$  ,  $\frac{1}{2} 0 \frac{1}{2}$  ,  $0 \frac{1}{2} \frac{1}{2}$   
 وبذلك يكون عامل البناء (F) كما يأتي :

$$F' = f_{Au} + f_{Cu} [e^{\pi i(h+k)} + e^{\pi i(h+l)} + e^{\pi i(k+l)}]$$

ويكن تبسيط هذه المعادلة بناء على المعلومات من الاشلة السابقة الى الشكل التالي :

$$F' = (f_{Au} + 3f_{Cu})$$

للدلائل  $hkl$  غير المختلطة (unmixed) كما نحصل على

$$F' = (f_{Au} + f_{Cu})$$

بالنسبة للدلائل  $hkl$  المختلطة (mixed)

وهذا يعني ان البناء المرتب ( الشكل (4-6)<sup>b</sup> يؤدي الى حدوث الحيود لكل قيم ( سواء كانت مختلطة او غير مختلطة ) ، وهذه الخاصية تجعل هذا البناء مشابها لنظام المكعب البسيط في التركيب البلوري .

#### 4.6 التحليل الكيميائي بواسطة الحيود

##### Chemical analysis by Diffraction

لا شك ان نمط الحيود هو خاصية مميزة للمادة المعينة ، وبعبارة أخرى للمواد المختلفة أنماط حيود مختلفة وهذا يعني انه بالامكان استعمال طريقة الحيود للكشف وتشخيص المواد ، ليس لاستخلاص المعلومات التي نحصل عليها بالتحليل الكيميائي وانما استخلاص معلومات لا يمكن للتحليل الكيميائي ان يكشف عنها .

فمثلا اذا كانت المادة ذات تركيب  $A_x B_y$  فإن نمط الحيود سيخبرنا عن المادة كما هي ، بينما التحليل الكيميائي يخبرنا عن وجود B,A ، وفي الحقيقة تحليل نمط الحيود كمي وخصوصا شدة الحيود يمكن الحصول على معلومات كمية عن مركبات

المادة كما هي الحالة في طريقة التحليل الكيميائي ، مثال آخر ، اذا كانت المادة تحوي على المركبات  $A_X B_Y$  و  $A_X B_{2Y}$  فإن نمط الحيود لها يتضمن معلومات عن هذه المركبات كما هي ، بينما التحليل الكيميائي الاعتيادي سيخبرنا عن وجود فقط  $B, A$

ولنناقش مثالا حيوا من الناحية التطبيقية : فثلا التحليل الكيميائي للصلب (steel) ، يبين لنا ان الصلب يحوي على كميات محددة من الكربون والمنغنيس.. الخ ولكنه لا يبين أية معلومات عن الأطوار (phases) الموجودة في الصلب ، مثل ، هل ان الصلب عبارة عن مارتنسايت (martensite) اوستنايت (Austenite) اوخليط من هذين الطورين ، اذ ان الصلب هو فيرايت وسمنايت (ferrite and cemenite) يمكن الاجابة على هذه الأسئلة باستعمال طريقة الحيود ومن أهم التطبيقات الأخرى للحيود هي الكشف عن المادة عند تواجدها بهيئات بنائية مختلفة ، فثلا تتواجد السليكة (slica) الصلبة في حالة بناء غير متبلور ، بناء عشوائي ، وستة أنواع من البناء البلوري . حيث ان أنماط الحيود تكون مختلفة لكل حالة بناء من هذه الحالات ، لذلك تستعمل طريقة الحيود بكفاءة عالية للكشف عن وتحليل المواد المختلفة . مثل الأتربة الصناعية والسبائك ونواتج التآكل والأطيان المعدنية (Clays) وغير ذلك ، حيث ان طريقة الحيود تمتاز بسرعتها وصغر حجم او كمية النموذج المطلوب للفحص كما طريقة الحيود من الطرق اللاتدميرية في الفحص (nondestructive test)

## المبادئ الأساسية :-

لقد سبق وان ذكرنا ان نمط الحيود هو خاصية من خواص المواد والذي بواسطته يمكن تشخيصها ( اي ان نمط الحيود يشبه في وظيفته طبع الأصابع التي تشخص الأفراد ) ، فلوفرضنا ان لدينا عددا كبيرا من أنماط الحيود ومن مواد مجهولة (Unknown) فإن الطريقة البدائية هي ان نقارن هذه الأنماط مع أنماط الحيود من المواد المعروفة ، وعند التطابق يتم تشخيص المادة ولكن هذا يستوجب أن يحوي ملفنا على اعداد كبيرة جدا من أنماط الحيود ولكافة المواد تقريبا ، مما يجعل هذه الطريقة ، اي طريقة المقارنة ، صعبة وغير عملية ، لذلك لا بد ان يكون هناك نظام (System) يصنف أنماط الحيود المعروفة وفقا لبعض المعايير ، وبذلك تكون المقارنة والتشخيص سريعين نسبيا .

لقد صمم هنوالت (Hanawalt) نظاما سنة 1936 يمكن بواسطته اجراء المقارنة لتشخيص المواد من أنماط حيودها ، حيث يتميز كل خط حيود بالزاوية  $2\theta$  وشدة الخط هي  $I$  ، ولكن الزاوية ( $2\theta$ ) تعتمد على طول موجة الأشعة المستعملة  $\lambda$  ، لذلك يستعمل عامل أساسي آخر وهو المسافة البينية بين المستويات الذرية  $(dn)$  التي تحدد بموقع خط الحيود أيضا ، لذلك قرر هنوالت أن يصنف أنماط الحيود بجدولة قيم  $(d)$  والشدة النسبية  $I$  للخطوط في كل نمط .

حيث يرتب الأنماط المعروفة وفقا لقيم  $(d)$  التناقصية للخطوط ذات الشد ، العالية ، وهذه الطريقة تجعل البحث او تطابق النمط المجهول مع النمط المعروف سهلا وسريعا ، حيث ان لهذه الطريقة فائدة اضافية . وهي عدم الحاجة لتعيين البناء البلوري للمادة في كل حالة . والآن نشرح طريقة هنوالت بشئ من التفصيل .

### 1.5.6 طريقة هنوالث The Hanawalt method

ان عملية جمع أنماط الحيود المعروفة للمواد بدأها هنوالث ومساعدوه حيث تمكنوا من أن يصنعوا أنماط الحيود لألف مادة تقريباً تبعثهم في ذلك بعض الجمعيات العلمية العالمية. حيث امكن لحد الآن جمع المعلومات وتبويبها على كارتات حجم "3 x 5" لحوالي 5900 مادة تتراوح بين المعادن والسبائك والمواد غير العضوية والعضوية .

في الحقيقة هناك عدة مواد تتشابه الى حد كبير في قيم (d) للخطوط الاولى من الحيود ذات الشدة العالية ، وبذلك بدأ هنوالث بفحص كل مادة بواسطة قيم (d) لثلاثة خطوط ذات الشدة العالية اي  $d_1, d_2, d_3$  وبذلك ضمن عدم تداخل أنماط الحيود المتشابهة . وقد خصص لكل مادة في هذا النظام بطاقة خاصة تحوي كثيراً من المعلومات البنائية ، وهذه البطاقات مستصحبة بدليل للاستعمال واستخلاص المعلومات منها (ASTM diffraction data) وهناك عدة نقاط مهمة يجب اتباعها

لتشخيص نمط الحيود من مادة مجهولة وهي

1- يجب أن تبرمج الشدة النسبية  $(I / I_0)$  وقيم (d) لنقاط أو خطوط الحيود المقاسة عملياً من المادة المجهولة .

2- ابحث عن قيم مجموعة  $(d_1)$  في دليل البطاقات

3- ابحث عن قيم  $(d_2)$  لايجاد أقرب تطابق مع القيم العملية ولا بد ان نسمح لاختلاف في حدود  $(0.01 \text{ \AA})$

بعد ان وجد التوافق بين قيم  $d_1, d_2, d_3$  المقاسة والمذكورة في الدليل قارن الشدة النسبية لنقاط أو خطوط الحيود العائدة لقيم  $d_1, d_2, d_3$  وعند تطابق هذه العوامل يكون التشخيص كاملاً . بالنسبة للكشف عن الأطوار الموجودة في المادة ونسبة وجودها والتي تخص بصورة خاصة العاملين في مجال علم المعادن (Metallurgy)

ننصح المهتمين بالرجوع الى (Baryett)

حيود الألكترونات السريعة

## الفصل السابع

---



## 1.7 نبذة تاريخية :-

الخاصية الموجية للالكترونات :-

أكتشف حيود الالكترونات السريعة من قبل :-

( Thomas and Reid Davission and Germer )

وهم يحاولون اثبات نظرية deBroglie والتي تنص على ان الدقائق المعجلة تصطبج

بطول موجي ، ولا بد ان نذكر ان الخاصية الموجية للالكترونات هي احدى أساسيات فيزياء الكم .

وبما ان الالكترونات المتحركة ( المعجلة ) تصطبج بطول موجي يعبر عنه

بالصيغة الآتية :- (1-7)

حيث  $\lambda$  هي الطول الموجي و  $h$  هو ثابت بلانك (planck constant) ،  $P$

هو زخم الجسيم ( الالكترون ) . لنفرض ان الالكترون يعجل من خلال جهد كهربائي

$V$  وسرعته الابتدائية تكون صفرا ، وعند وصوله الى نقطة ذات جهد  $V$  تتساوى

الطاقة الحركية والمكتسبة مع كمية الطاقة المفقودة

$$V_e = \frac{P^2}{2m} \quad (2-7) \quad \text{اي ان}$$

حيث  $m, e$  هما شحنة وكتلة الالكترون على التوالي .

وبالتعويض في المعادلة (1-7) عن  $P$  نحصل على ان

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meV}} \quad (3-7)$$

وبالتعويض عن الثوابت  $h, e, m$  في المعادلة رقم (3-7) نحصل

على ما يلي :

$$\lambda = \sqrt{\frac{1500}{V}} \quad (4-7)$$

حيث  $\lambda$  تقاس بـ  $V_0 Pm$  بـ (kv) . وعلى سبيل المثال ان طول موجة  
الالكترون عند 100kv هي 0.0387 انكستروم ( $\text{\AA}$ ) علما ان

$$1 \text{\AA} = 10^{-10} m$$

$$1 \text{\AA} = 100 Pm$$

$$10 \text{\AA} = 1 nm$$

$$1 \text{\AA} = 10 nm$$

وعند استعمال فرق جهد كبير ( اكثر من 100kv ) لتعجيل الالكترونات فيجب  
استخدام القوانين النسبية لحساب الطول الموجي ، وان التعديل الذي يطرأ هو حساب  
فرق الجهد نسبيا ( $V^*$ ) لذلك تكون العلاقة كالآتي : -

$$V^* = V(1 + 10^{-3} V)$$

حيث  $V$  و  $V^*$  يقاسان بوحدة الكيلو فولت (KV) .  
نستخدم ظاهرة حيود الالكترونات لدراسة التركيب البنائي وعلى المستوى الجزيئي  
والذري للمواد والسبائك على اختلاف تراكيبها وانواعها .

## 2.7 الفحص البنائي (Structural investigation)

ونقصد بالتركيب البنائي هو تركيب الذرات والجزيئات في البلورة او العيوب  
الموجودة في البناء البلوري (Defects) ، حيث ان للحيود علاقة كبيرة  
بالخواص الميكانيكية والفيزيائية والتي سبق شرحها بالتفصيل في الفصول الاولى . أما  
الاجهزة المستعملة لهذا الغرض هي .

1 - كاميرة الحيود الالكتروني Electron diffraction Camera

2 - استخدام المجهر الالكتروني للحصول على الحيود

وهنا لا بد لنا ان نشرح باختصار كاميرة الحيود الالكتروني

ان اول الاجزاء في هذه الكاميرا هو مصدر الالكترونات

(illuminating System) ويمكن توضيح هذا الجزء في الشكل



(1-7) ، حيث ان مصدر الالكترونات هو عبارة عن فتيلة على شكل حرف

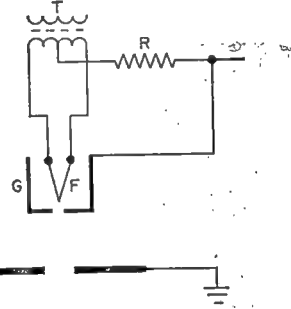
V تصنع عادة من مادة التنكستن / tungstan وهي عبارة عن سلك قطره حوالي

100 ما يكو متر ( micrometer ) علما ان  $1 \mu m = 10^{-6} m$

ويتم تسخين هذه الفتيلة بتيار كهربائي من محولة كهربائية مثل T في هذه الحالة ، ولهذه المحولة ملف ثانوي يمكن ان يتحمل فرق جهد كبير وحسب الحاجة مثل 100 كيلو فولت ويسلط عادة بين الفتيلة والأرض earth .

ومن الشكل يتضح لنا ان الفتيلة تكون حادة راسيا ، حيث ان لهذه الخاصية فائدة كبيرة وذلك لان الحرارة المفقودة من هذا الجزء تكون قليلة نسبيا مما يؤدي الى ارتفاع درجة حرارة هذا الجزء وبالتالي يتم انبعاث الالكترونات ، ويزداد انبعاث

هذه الالكترونات مع ارتفاع درجة الحرارة ( Thermoionic emission )



شكل (1-7)

تكون الفتيلة عادة داخل قطب (Electrode) اسطوانى الشكل

ومغلق (G) grid ، وفي هذه الاسطوانة فتحة قطرها حوالي 1 ملم تكون في

النهاية السفلى وتسمح بمرور الالكترونات ( حزمة الالكترونات ) ، وان هذه

الاسطوانة تدعى ( Wehnelt electrode )

جهدها الكهربائي ثابت مقداره حوالي ( 200 - 500 ) فولت وسالب بالنسبة للفتيلة

وينتج عن ذلك مرور تيار من الالكترونات المنبعثة حراريا خلال المقاومة (R).

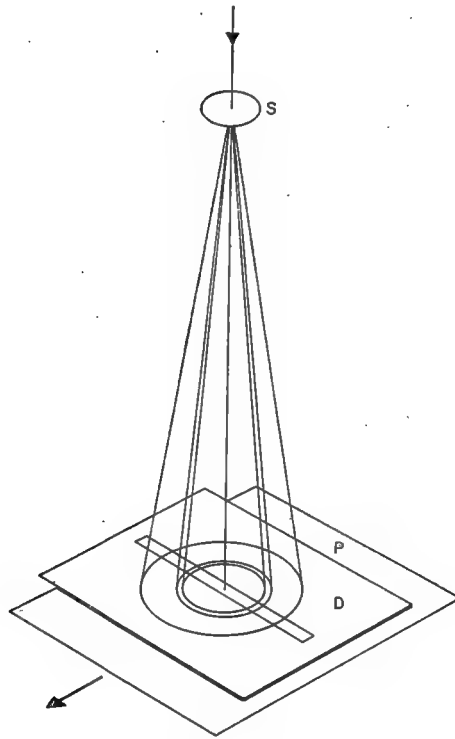
وان الالكترونات الحرارية الخارجة من الفتحة G تجذب نحو المصعد Anode

والذي يكون جهده صفرا ( earth ) تسقط حزمة الالكترونات على النموذج المراد

اختباره بواسطة عدسات كهرومغناطيسية (Electromagnetic Lenses)

والتي تشبه الى درجة كبيرة عملية التنبير (Focusing) للضوء بواسطة العدسات الزجاجية (glass Lenses).

وللمعلومات الكثيرة التي تبين لنا كيفية صنع هذه العدسات الكهرومغناطيسية وعملها يجب الرجوع الى المصدر Hawks والشكل رقم (2-7) بين لنا مسار الالكترونات تخطيطا خلال العدسات الكهرومغناطيسية الى



شكل (2-7)

النموذج وحيث نلاحظ ان هذه العدسات تبث (Focusing) الالكترونات بعد مرورها خلال النموذج  $\Sigma$  على لوح فوتوغرافي (P) (Potographic plate) على هيئة حيود ومن ثم يجري تسجيلها .

وسنأتي الى دراسة انواع الحيود من النماذج المختلفة وكيفية تفسيرها فيما بعد ولا بد ان نشير الى ان جميع اجزاء الكاميرا ( بما فيها مصدر الالكترونات والعدسات الكهرومغناطيسية واللوح الفوتوغرافي ) توضع داخل اسطوانة مصنوعة عادة من مادة صلبة وتدام تحت الفراغ العالي نسبيا (High vacuum) ، وحيث تفرغ الاسطوانة في كل مرة بواسطة مضخات التفريغ الميكانيكية والزيتية وان مقدار الفراغ ( Vacuum ) يتراوح بين  $10^{-5}$  -  $10^{-10}$  ملم زئبق .

### 3-7- طبيعة النماذج المفحوصة

تكون النماذج المفحوصة عادة في الحالة الصلبة ( وهناك كاميرات لفحص العينات

في الحالة السائلة ) . وأما ان تكون لنماذج بلورة احادية (Single Crystal) او متعددة البلورات او بحالة مسحوق ( Powder ) وفي اية حالة يجب ان تكون النماذج رقيقة الى درجة تسمح لحزمة الالكترونات أخترقها . فمثلا في حالة استعمال الالكترونات المعجلة بطاقة مقدارها 100 kv ويجب ان لا يتجاوز سمك النموذج اكثر من  $1000 \text{ \AA}$  ، وكلما زادت طاقة الحزمة الالكترونية امكن استعمال نماذج اسمك والشكل رقم (3-7) يبين شكل نمط الحيود ( diffraction pattern )

من نموذج احادي البلورة

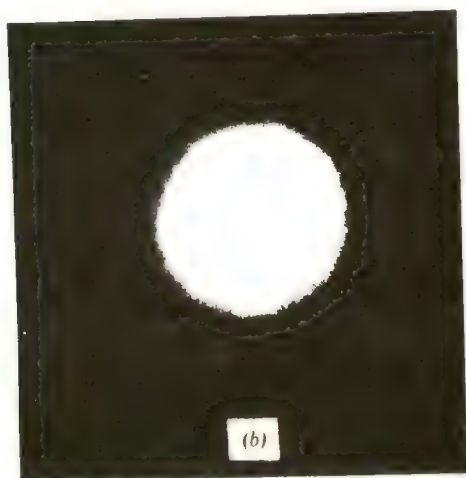
على اللوح الفوتوغرافي والشكل رقم (4-7) يمثل نمط حيود من المادة متعددة البلورات (polycrystalline) اما الشكل رقم (5-7) فيمثل نمط الالكترونات من أنموذج عشوائي التركيب ( Amorphous ) وفي بعض الاحيان يدعى بالتركيب اللاتشكيلي



شکل (3-7)



(3-7)  
شکل (4-7)



شکل (5-7)

## 4.7 (النظرية الحركية المجردة لحيود الالكترونات) (Kinematic Theory of Electron Diffraction)

المقدمة .

في معالجة الحيود الالكترونات في هذا الفصل ، سنعتبر ان الالكترونات

السريعة تستطير Scattering وتحدد diffracted من نماذج احادية البلورة او متعددة البلورات ، وان هذه النظرية ( النظرية الحركية ) تعطي تفسيراً معقولاً وصحيحاً الى درجة كبيرة من الدقة اذا ما اجريت التجربة وفقاً للفرضيات المبينة على اساس هذه النظرية .

حيث تستند هذه النظرية على فرض ان نسبة قليلة جداً من الالكترونات الساقطة تستطير من النموذج ، وهذا يعني فيزيائياً ان الذرات المكونة للنموذج تستلم موجات ذات سعات متساوية ، كما يجب الا نعتبر تأثيراً لمستويات الذرية في البلورة ( على فرض ان النموذج بلوري ) في موجات الالكترونات عند اختراقها ( اذا كان النموذج سميكاً ، فالتأثير سيكون قليل السعة attenuation of incident beam وبناء على ما تقدم يمكن اعتبار شدة الموجات المستطيرة في الاتجاهات المختلفة تساوي شدة الموجة الاصلية الساقطة على النموذج ، مع الاخذ بنظر الاعتبار طور الموجات عند الجميع ( Phase relationship ) وهذا يعني ان قسماً من الالكترونات الساقطة على النموذج يعاني استطارة والقسم الاخر لا يعاني استطارة unscattered

( والنوع الاخير يعني الالكترونات التي تخترق النموذج لا تعاني تغيراً في الاتجاه ) . في الحقيقة ، النظرية الحركية لحيود الالكترونات تهمل استطارة الالكترونات الى الخلف / backscattered ( باتجاه الحزمة الساقطة ) وان الحزمة المستطارة يمكن ان تعاني استطارة مفردة تسمى single scattering او تعاني استطارة اكثر من مرة وتسمى multiple scattering . وهذه الظاهرة تعالج بالتفصيل

بواسطة النظرية الديناميكية لحيود الالكترونات ( Dynamical theory )

ومن الواضح ان النظرية الحركية لحيود الالكترونات تكون صحيحة وتزداد صحتها

كلما كانت الحزم المستطارة باتجاهات مختلفة ضعيفة جدا مقارنة بالحزمة الاصلية كما مبينة في الشكل التالي .

تؤكد هنا ، ان نجاح او فشل هذه النظرية في تفسير النتائج العملية تعتمد كليا على ظروف التجربة ، فأذا فرضنا ان سمك النموذج في حدود  $1000 \text{ \AA}$  والجهد المعجل Accelerating Voltage بحدود  $100 \text{ kv}$  فستكون للنظرية الحركية القدرة على تفسير النتائج وخصوصا من المواد المكونة من ذرات خفيفة light atoms ( المواد ذات العدد الذري الوطئ Low atomic number ) كالمواد العضوية لفهم وتفسير الحيود الالكتروني للمواد بصورة صحيحة ودقيقة لا بد من فهم عملية الاستطارة وخصوصا الاستطارة المرنة التي لها الدور الكبير في حمل المعلومات من النموذج ، حيث ان تركيز شدة الالكترونات في اتجاهات معينة هي نتيجة للاستطارة المرنة ( Bragg reflections ) ، بينما الشدة التي تسهم في الخلفية وتؤدي الى اضعاف التركيزات نتيجة للاستطارة غير المرنة .

تعني الاستطارة المرنة هو انه عند مرور الالكترونات السريعة خلال النموذج

وقريبا جدا من الذرات يحدث تفاعل كولومبي Coloumbic interaction تسبب بأن الالكترونات تغير اتجاهها الاصلي الى اتجاهات محدودة ، وبعبارة اخرى بزوايا محدودة دون ان تفقد من طاقتها ، وان الالكترونات المستطارة بهذه الصورة تحمل معلومات دقيقة عن الذرات وبناء النموذج بصورة عامة ، بينما الالكترونات المستطارة بصورة غير مرنة تكون قد تفاعلت مع المجال الكولومبي للالكترونات المدارية ( orbital electrons ) لذرات النموذج وتنقل اليها جزء من طاقتها وتستطير بزوايا عشوائية واصغر من الزوايا للاستطارة المرنة .

وتكون الالكترونات المستطارة بهذه الصورة ( غير المرنة ) لا تحمل معلومات دقيقة عن بناء المادة المفحوصة وتسهم بشكل سلبي في تكوين الحيود الالكتروني وبعد هذه المقدمة لألية الاستطارة وانواعها سنأتي الى تفصيلها .

## 5.7 استطارة الالكترونات من ذرة احادية :

### Scattering of electron's by single atom

لنبدأ باستطارة موجة او حزمة الكترونية مستوية من قبل ذرة واحدة ونفرض

ان الموجة المتقدمة باتجاه  $z$  يمكن ان يعبر عنها بالدالة التالية  $e^{ikz}$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad , \text{ وحيث}$$

يعرف بالعدد الموجي wave number  $\lambda$  الطول الموجي لحزمة الالكترونات

وان الذي يحدث هو استطارة الحزمة الساقطة على هيئة موجة كروية والتي يمكن تمثيلها بالدالة التالية .

$$- \frac{e}{r} F'(\sin 2\theta/\lambda) \quad (4-7)$$

حيث  $r$  هو المتجه المرسوم بين نواة الذرة وجبهة الموجة ،  $2\theta$  هي الزاوية بين

اتجاه الموجة الاصلي واتجاه استطارة الموجة وتدعى بزاوية براك .

Bragg angle نسبة الى العالم Bragg

و  $F'(\sin 2\theta/\lambda)$  ويدعى بعامل الاستطارة الذرية للالكترون وله

وحدات الطول وهو في حدود  $100 \text{ pm}$

ومن السهولة بمكان ان نبين ان :

$$F'(\sin 2\theta/\lambda) = \frac{me^2}{8\pi h^2 \epsilon_0} \frac{\lambda^2 (Z-f)}{\sin^2 \theta} \quad (5-7)$$

حيث ان  $Z$  هو العدد الذري و  $f$  هو عامل استقطار الذرة للاشعة السينية

و  $\epsilon$  هي معامل النفاذية للفراغ .

ولاشتقاق المعادلة رقم (5-7) ننصح الرجوع الى المصدر Mott and Massey ولا بد ان نذكر هنا ان عامل الاستقطار الذرية للالكترونات اكبر بكثير ، ولنفس الذرة

من عامل الاستقطار لموجة الاشعة السينية ، وذلك كما يلي :-

$$\frac{F(\sin 2\theta/\lambda)}{f} \simeq 10^4$$

وجدير بالذكر ان قيمة  $F$  لجميع الذرات تقريبا مدونة في عدة مصادر وخاصة

تلك التي تعني بدراسة علم البلورات التركيبية بواسطة الاشعة السينية

( X - ray Crystallograaphy ) وكمصدر نموذجي

انظر الى Ibers and Vainshtein وأكدنا هنا عامل الاستقطار

نظرا لاهميته في تعيينه البناء الصحيح للبلورة وكذلك حساب ترتيب الذرات في

وحدة البناء البلوري وطول الاواصر بين الذرات ( bonds ) وغير ذلك من

المعلومات التي يمكن الحصول عليها من شدة نقاط او خطوط الحيود.

ولا بد ان نعلم الحيود من الذرات الاحادية الى الحيود من البلورة .



## 6.7 حيود الالكترونات من شبكة البلورة :-

### Diffraction by crystal - Lattice

هنا سنعني بالحيود من بلورة كاملة والتي هي كبيرة نسبيا الى درجة يمكن اعتبارها ما لا نهاية في الكبر لان الحجم المحدد للبلورة له تأثير في تفسير انماط الحيود كما سنأتي بمناقشة ذلك فيما بعد .

يمكن ان نصف البلورة بثلاثة متجهات غير متطابقة هي  $a, b, c$

والخلية التي ترسم بهذه المتجهات هي وحدة البناء البلوري بالطبع ( unit cell )

ان المتجه الذي يصف ذرة ما في البلورة يمكن ان يكتب بالشكل التالي :-

$$R = (m_1 + i_1)a + (m_2 + i_2)b + (m_3 + i_3)c \quad (6-7)$$

حيث  $m_1, m_2, m_3$  هي اعداد صحيحة integers

$i_1, i_2, i_3$  هي كسور تامة

من اهم الخواص الاساسية للبلورة هي انها بناء متكون نتيجة لتكرار وحدة

البناء نفسها بصورة مستمرة وبالاتجاهات الثلاثة بصورة لا نهائية .

( Repeating structure ) وهذا يعني انه اذا اعتبرنا ان هناك

ذرة موجودة في موقع يمكن وصفها بواسطة تركيبيه معينة من الاعداد ( $m's$ ) والكسور

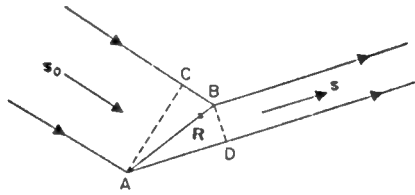
( $i's$ ) فيجب ان تكون هناك ذرة متشابهة موجودة في كل موقع يمكن وصفه بنفس

القيم ( $i's$ ) وكل تركيبيه ممكنة من الاعداد  $m_1, m_2, m_3$  وبهذا

نشخص وحدة البناء بواسطة ثلاثة اعداد خاصة ( $m_1, m_2, m_3$ )

وتحتوي على عدد ( $M$ ) من الذرات ( ليس من الضروري ان تكون كلها من نوع

واحد ( المتواجدة في مواقع يمكن تمييزها بواسطة قيم مختلفة لـ  $(S')$  ). وعلى سبيل المثال ، هناك عدد كبير من المعادن تتبلور على هيئة Fcc ( Face Centered Cubic ) التي تحتوي وحدة بنائها على اربع ذرات ومتواجدة في المواقع لنفرض في الشكل ( 6-7 ) ان  $A$  هي نقطة الاصل ( original point )



شكل (6-7)

وموقع لذرة معينة  $B$  هي اية ذرة اخرى في الشبكة والتي توصف بالنسبة لـ  $A$  بمتجه  $(R)$  لنفرض ان  $s$  و  $s_0$  هما متجه الوحدة لمتجهين باتجاه الموجة الساقطة والمستطيرة على التوالي ، وبذلك يكون فرق المسار للموجات المستطارة من .

$$CB - AD = RS_0 - RS \quad \text{و } A \text{ و } B \text{ هو}$$

وعليه يكون فرق الطور للموجتين المستطيرتين من  $A$  و  $B$  هو

$$\Phi = \frac{-2\pi}{\lambda} R(S - S_0) \quad (7-7)$$

ولتسهيل الحسابات مستقبلا يكون من الافضل وصف فرق الطور بدلالة الحيز

المقلوب ( Reciprocal lattice ) او الشبكة في الحيز المقلوب .

$$i_1, i_2, i_3 = 0 \quad 0 \quad 0$$

$$0 \quad \frac{1}{2} \quad 0$$

$$\frac{1}{2} \quad \frac{1}{2} \quad 0$$

$$\frac{1}{2} \quad 0 \quad 0$$

$$\frac{1}{2} \quad \frac{1}{2} \quad 0$$

( السبب لذلك وجيه جدا لان الحبود ما هو الا صورة للنموذج في الحيز المقلوب )  
والتي توصف بالمتجهات  $b_1, b_2, b_3$  والعلاقة بين متجهات الحيز الحقيقي

$$a_i, b_j = 0 \quad \text{if } i \neq j$$

$$= 1 \quad \text{if } i = j \quad (8-7)$$

عندما تصف المتجهات  $(a, b, c)$  وحدة بناء مكعب الشكل تكون  
 $(b_1, b_2, b_3)$  متطابقة معها وتكون كمية احدهما مقلوب الاخرى ، وهذا

$$|a| = \frac{1}{b_1} \quad \text{يعني ان}$$

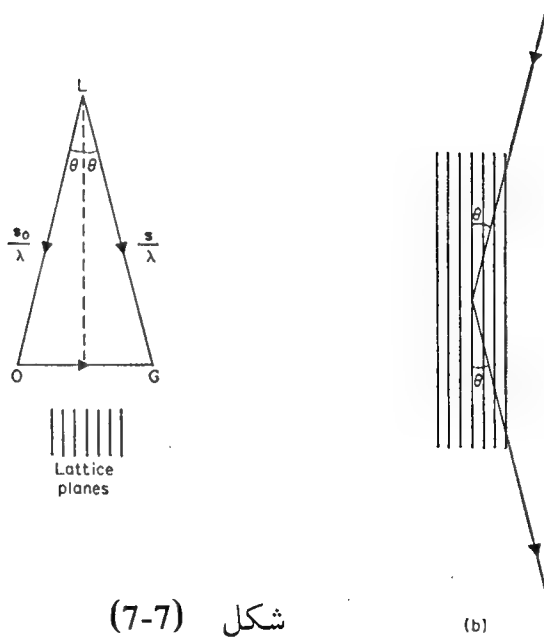
ولناخذ حالة عامة لغرض توضيح العلاقة بين المتجهات في الحيزين ، ولننظر

الى الشكل رقم (7 - 7) والذي فيه المتجه  $b_1$  على المستويين

ABCD ، EFGH ، حيث

$$b_1 \cdot b = b_1 \cdot c = 0$$

وتكون كمية  $b_1$  تساوي مقلوب المسافة العمودية بين هذين المستويين وب نفس  
الطريقة يمكن وصف  $b_2$  و  $b_3$ . ومن المعلوم انه عند مروراية ثلاثة ازواج متوازية  
خلال الشبكة في الحيز يتكون متوازي المستطيلات ، وهذا المثال حالة  
خاصة اذاً من القاعدة العامة .



شكل (7-7)

ولنعمل بالكلمات ان القاعدة العامة هي انه عند مرور المستويات المتوازي خلال نقاط الشبكة في الحيز فيكون بالامكان رسم متجهات عمودية على هذه المستويات والتي هي المسافة العمودية بين المستويات ذات العلاقة بالمتجهات ومنها بأنها تكون نقاط الشبكة في الحيز المقلوب ( Reciprocal lattice )

وهذه هي النقطة المهمة التي اردنا ان نؤكد ها نظرا لاهميتها في فهم وتحليل نمط الحيود. من الضروري تعريف متجه في الحيز المقلوب من تركيبه خطية للمتجهات

(  $b_1, b_2, b_3$  ) كما يلي

$$\vec{S} = \frac{S - S_0}{\lambda} = g_1 b_1 + g_2 b_2 + g_3 b_3 \quad (8-7)$$

حيث (  $g_1, g_2, g_3$  ) هي ثلاث كميات غير اتجاهية و ر بض المعادلة (8-7) بالمعادلة (8-7) يمكن كتابة المعادلة التالية

$$\Phi = -2\pi [ (m_1 + l_1) g_1 + (m_2 + l_2) g_2 + (m_3 + l_3) g_3 \dots ] \quad (9-7)$$

ومن المعادلة رقم (4-7) و (10-7) يمكن القول انه على مسافة بعيدة جدا من نقطة

الاصل ، تكون الموجة المستطيرة من B هي  $-e^{ikr} f_i e^{i\phi}$

وبذلك تكون الموجات المستطيرة من كافة الذرات في البلورة هي

$$\psi = -\frac{e^{ikr}}{r} \sum_m \sum_i f_i \exp[-2\pi i \{ (m_1 + i_1) \mathbf{e}_1 + (m_2 + i_2) \mathbf{e}_2 + (m_3 + i_3) \mathbf{e}_3 \}] \quad (11-7)$$

حيث (fi) تمثل الكمية (f) وتجب للذرة (ith atom) ويكون الجمع

شاملا لجميع الذرات (m) التي فرضت مسبقا في وحدة البناء unit cell

والجمع (m) يكون شاملا لجميع وحدات البناء في البلورة ( البلورة تتكون من عدد كبير من وحدات البناء ) .

$$\psi = -\frac{e^{ikr}}{r} EG \quad (11-7)$$

حيث ان :-

$$E = \sum_i f_i \exp[-2\pi i \{ (i_1 \mathbf{e}_1 + i_2 \mathbf{e}_2 + i_3 \mathbf{e}_3) \}] \quad (12-7)$$

وكذلك

$$G = \sum_m \exp[-2\pi i (m_1 \mathbf{e}_1 + m_2 \mathbf{e}_2 + m_3 \mathbf{e}_3)] \quad (13-7)$$

علما ان  $E$  هو عامل التركيب البنائي ( structure factor ) ويعتمد على توزيع المادة ( الذرات او الجزيئات ) في وحدة البناء البلوري ( هناك بعض الكتب ترمز له بالحرف  $F$  وخصوصا في حالة حيود الاشعة السينية ) .

و  $G$  هو عامل ب بناء الشبكة البلورية ( Lattice factor ) ويعتمد على نوع الشبكة ، وبالنسبة للبلورة ذات الحجم المحدد ، يعتمد على شكل وحجم الشبكة (Lattice) والشئ المهم في الموضوع والذي يسجل في نمط الحيود هو الشدة (Intensity) وان شدة الموجة المستطيرة هي : -

$$\psi\psi^* = \frac{1}{r^2} |E|^2 |G|^2 \quad (14-7)$$

حيث تمت عملية الضرب بالمرافق للحصول على المعادلة أعلاه ، لنعد الان

$$|G|^2 = \sum \sum \exp [-2\pi i \{ (m_1 - m'_1) \epsilon_1 + (m_2 - m'_2) \epsilon_2 + (m_3 - m'_3) \epsilon_3 \} ] \quad (15-7)$$

كتابه  $G/2$

ولهذه المعادلة قيمة عظمى محددة ( sharp maximum ) عندما يكون لكل حد فيها نفس الطور ، وبعبارة اخرى عندما تكون قيم  $(g)$  اعداد كاملة ( integers ) سبق وان عرفنا  $(g)$  بالشكل التالي : -

$$g = \frac{(S - S_0)}{\lambda}$$

وهو متجه مكافئ لمنطقة في الحيز المطلوب

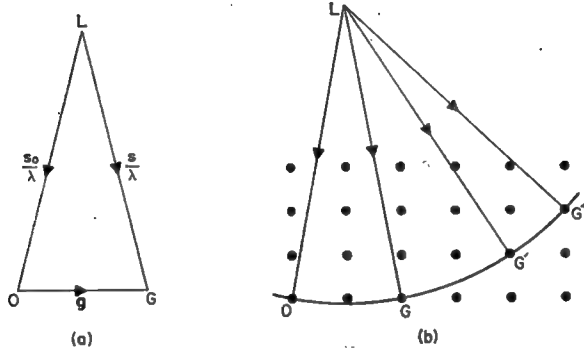
( position vector "g" of a point of the reciprocal Lattice )

وقد ترجم العالم Ewald هذه النتيجة الى واقع هندسي كما في الشكل التالي (7 - 8) في الشكل (8-7) <sup>A</sup> في نقطة الاصل  $o$  هي نقطة في شبكة الحيز المقلوب و  $G$  هي نقطة في شبكة الحيز المقلوب ذات متجه مكاني .

$$\mathbf{G} = \mathbf{G}_1 b_1 + \mathbf{G}_2 b_2 + \mathbf{G}_3 b_3$$

كما يمكن ملاحظة العلاقة الهندسية بين المتجهات  $\mathbf{G}$  ,  $\frac{\mathbf{S}}{\lambda}$  ,  $\frac{\mathbf{S}_0}{\lambda}$

في نفس الشكل .



شكل (8-7)

يجب ان نتذكر هنا ان  $\mathbf{S}$  و  $\mathbf{S}_0$  هما متجه الوحدة (unit vectors) وبذلك ترسم كرة (sphere) مركزها في  $(L)$  ونصف قطرها هو  $(\frac{1}{\lambda})$  ومن النقطة  $G$  يكون بالامكان ايجاد اتجاه حيود حزم الالكترونات كما في الشكل (8-7) <sup>B</sup>

ويمكن رسم الشكل (8-7) <sup>B</sup> من النتيجة العملية ( السوح الفوتوغرافي لنمط الحيود ) بالطريقة التالية : - كما في الشكل (9-7)

ارسم  $(OL)$  من نقطة الاصل باتجاه معاكس للحزم الساقطة على النموذج وبطول  $(\frac{1}{\lambda})$  واجعل  $L$  مركزاً لنصف كرة تمر من النقطة  $O$  واذا ما مرت الكرة

في النقاط مثل  $G$  (في الشكل 7-9 مثلاً) فيكون  $LG, LG, LG, LG$

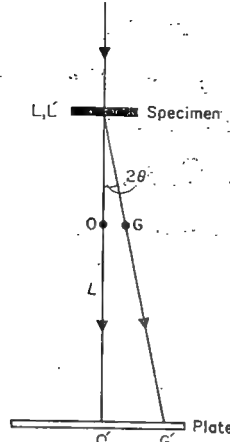


Fig. 3.6.

### شكل (9-7)

هما اتجاهات حيود الحزم ( Diffracted beams ) وتدعى (L) في بعض المصادر بنقطة لاوى ( Laue Point ) ، والكرة تدعى بكرة الانعكاس ( sphere of reflection ) ماتقدم ينطبق أيضا في حالة حيود الأشعة السينية والنيوترونات وجميع الجسيمات الأخرى .

الشكل 7-7 يبين نفس العلاقة بين المتجهات  $g$  و  $\frac{s}{\lambda}$  و  $\frac{So}{\lambda}$  التي يبينها الشكل (8-7)

وبما أن المتجه ( $g$ ) في شبكة الحيز المقلوب هو عمودي على مجموعة من المستويات في شبكة الحيز ، هذه المستويات تحوي ذرات البلورة ، بالطبع فلذلك يكون الشكل (7-7) معبرا عن ذلك .



يمكننا في هذا الشكل ان نعتبر المستويات وكأنها تعكس الموجات الساقطة بزاوية عرضية (glancing angle) هي  $\theta$  ، ولتذكر ما سبق هو ان كمية (g) تساوي مقلوب المسافات العمودية بين المستويات (d).

(interplaner distance) الذرية في شبكة الحيز (space lattice)

وبتلك نستنتج

$$\sin \theta = \frac{0G}{20L} = \frac{1/d}{2/\lambda}$$

$$2d \sin \theta = \lambda$$

وهذه المعادلة ماهي الا معادلة براك (Bragg) والتي سبق وان اشتقت من مفهوم الحيز الحقيقي ، وهذا يبين العلاقة بين الحيزين .

ونظرا لاستعمال فرق جهد عالي لتعجيل الالكترونات في تجارب الحيود وبعبارة اخرى تكون  $\lambda$  حوالي  $\frac{1}{100}$  من معدل المسافات البينية للمستويات الذرية (d) ، لذلك يكون نصف قطر الكرة في الشكل (7-7) اكبر بمائة مرة من المسافات بين نقاط الشبكة من الحيز ولقلوب .

وهذا يؤدي الى جعل نمط الحيود على اللوح الفوتوغرافي مستويا (plane) الى درجة كبيرة ، ولنوضح هذه الفكرة للاغراض العملية بالشكل رقم (9-7) حيث  $L$  تمثل المسافة بين النموذج واللوح الفوتوغرافي ، وواضح في الشكل ان الحزمة غير المستطارة تصطدم باللوح في نقطة O والحزمة المستطارة في النقطة G ، وبعد ان نسجل نمط الحيود فوتوغرافيا وكذلك بعد عملية الاظهار (Development)

تم القياسات بالاستعانة التي سنشقها كما يلي في الشكل  $\tan 2\theta = \frac{R}{L}$

لزاوية حيود صغيرة جدا فان  $2\theta = \frac{R}{L}$   $2\theta = \tan 2\theta$

ومن قانون براك اذا  $2d \sin \theta = \lambda$

وكذلك للزاوية الصغيرة فان  $\sin \theta \approx \theta$

$$\theta = \frac{\lambda}{2d}$$

وبالتعويض عن  $\frac{R}{2L} = \theta$  نحصل على  $d = \frac{L\lambda}{R}$

وكما هو معروف فان (d) تمثل المسافات البينية للمستويات الذرية في البلورة ،

في الحيز الاعتيادي و  $R$  تمثل المسافة بين نقطة الاصل وأية نقط أخرى على اللوح الفوتوغرافي المراد دراستها و ( $L$ ) تدعى بثابت الكاميرا ( **Camera constant** )  
تعين تحريبا ( التعبير ) باستعمال نموذج قياس ، وبهذه الطريقة يمكن قياس ( $d$ ) لكل بقع أو خيوط الحيود .

أو خطوط الحيود على اللوح الفوتوغرافي ، حيث نقصد بنقاط نمط الحيود ذلك النمط الذي نحصل عليه لبلورة احادية كما في الشكل (3-7)  
واما الخطوط فذلك النمط الذي نحصل عليه من نموذج متعدد البلورات كما في الشكل (4-7) والذي هو عبارة عن مقطع عرضي لعدة كرات متداخلة . ويجدر الذكر هنا ان كل نقطة او خط يمثل مجموعة متوازية من المستويات الذرية في البلورة ذات مسافات بينية تتناقص كلما ابتعدنا عن المركز ، وبعبارة اخرى كل ما كبرت زاوية الحيود (2θ) .

لا يصطلح على النقاط او الخيوط القريبة من المركز بالحيود ذات الزوايا الصغيرة ( **Low angle diffraction** ) وتلك البعيدة بالحيود ذات الزاوية الكبيرة ( **High angle diffraction** ) ولا بد ان نذكر هنا ان شدة النقاط او الخطوط تتضاءل كلما كبرت زاوية الحيود الى ان تصل الى الصفر وقد سبق وان ناقشنا ذلك منفصلا تحت بند تأثير الاهتزازات الحرارية للذرات على شدة الحيود ، ولا بد ان نؤكد ان من تركيب وشكل نمط الحيود وعلاقة النقاط او الخطوط ببعضها ، يستنتج البناء البلوري وتحدد المجموعة التي اليها تعود وكذلك المسافات بين المستويات الذرية وفي اتجاهات بلورية متعددة ( **Crystallographic information** )  
اما من شدة ( **intensity** ) نقاط الحيود او الخطوط فيستنتج كثير من المعلومات عن طبيعة الذرات الموجودة ، وكيفية توزيعها والبناء على المستوى الذري ، وهل البناء تام ام هناك عيوب ( **defects** ) مثل الخلع ( **Dislocation** ) او العيوب النقطية ( **point defects** ) وغير ذلك من العيوب .

كما يستنتج من الشدة ( intensity ) أيضا الترتيب الهندسي للجزيئات او الذرات في وحدة البناء البلوري وذلك باستعمال الحاسبة الالكترونية ولتعد الان لمناقشة المعادلة (7-12) لكونها تمثل شدة حيود الحزمة الالكترونية فقد فرضنا في كل ما نقدم بان الحزمة الالكترونية لها سعة مقدارها وحدة واحدة (Unite amplitude) وهذا يعني انه هناك الكترونا واحدا كمعدل لوحدة الحجم في الحزمة الالكترونية ، واذا فرضنا ان (V) هي سرعة الالكترونات يكون U عدد الالكترونات التي تمر في وحدة الزمن نستنتج من المعادلة (7-9) ان عدد الالكترونات في الحزمة المحادة التي تنفذ خلال مساحة (dS) عمودية على اتجاه الحزمة على بعد مسافة (r) من نقطة الاصل في البلورة يكون عدد الالكترونات :

$$V \psi \psi^* dS = \frac{U}{r^2} E^2 G^2 dS \quad (16-7)$$

لكن — هي زاوية مجسمة ( Solid angle ) معينة على البلورة من dS لذلك يكون عدد الالكترونات المستطارة الى وحدة الزاوية المجسمة  $\frac{r \psi \psi^* dS}{dS / r^2}$  ( Unite solid angle ) في وحدة الزمن هي  $UE^2 G^2$

فنحصل على

عدد الالكترونات المحادة الى وحدة الزاوية المجسمة في وحدة الزمن

عدد الالكترونات في الحزمة الساقطة المارة خلال وحدة

المساحات في وحدة الزمن

ومن الواضح ان هذه الكمية لها وحدات المساحات ( dimension of area )

$$\Sigma = E^2 G^2$$

وهي تمثل مقطع الاستطارة البلورية cross Section of the Crystal

( Scattering ) وهذه الكمية ذات أهمية كبيرة في الخاسبات وخصوصا تلك التي تخص تعيين التفاصيل الدقيقة لوحدة البناء .

فيما تقدم اشتقت المعادلات على أساس بعض الفرضيات المثالية ، مثل الحزمة الالكترونية الساقطة على النموذج متوازية تماما وان جميع الالكترونات في الحزمة لها نفس الطاقة ( اي نفس طول الموحه ) ، كما وكانت الفرضية المهمة أن البلورة خالية من العيوب مثل الخلع وغيرها ، اي ان البناء مثالي ، ونحن نعرف بأن لا صحة لاي من هذه الفرضيات عمليا ، فالحزم الالكترونية ليست متوازية الى درجة الكمال وهذا يعني ان  $S_0$  ليست ذات قيمة فريدة وانما ذات قيم موزعة احصائيا ضمن مخروط ضيق ( narrow Cone ) كما ان جميع الالكترونات ليس لها نفس الطاقة وانما هناك توزيع احصائي للطاقة ( Energy disitribution ) اي هناك مدى من طول الموجات (  $\lambda$  )

وفي الاجهزة الحديثة تكون فرق الطاقة للالكترونات ذات الطاقة الحركية  $100 \text{ kV}$  حوالي  $2 \text{ eV}$  كمية هائلة جدا ولكن مع ذلك لها بعض التأثيرات التي تأثر في بعض الدراسات الدقيقة . حيث وجود مدى من اطوال الموجات ( Range of wave length ) يعني ان نصف قطر كرة الانعكاس ( sphere of reflection ) ليست ذات قيمة فريدة وانما ذات قيم متعددة ( نذكر علاقة طول الموجة بقطر كرة الانعكاس ) .

والبلورة ليست مثالية في تركيبها ، فتكون اما جهدة بصورة مرنة مثلا او فيها صفوف من الخلع ( rows of dislocations ) ، وهذا يظهر تأثيره في نمط الحيود بشكل وكأن البلورة الاحادية متكونة من عدة بلورات لاحادية تختلف عن بعضها قليلا في الوضع الهندسي بالنسبة للحزمة الالكترونية وتأثير هذه العوامل مجتمعة تؤثر في عدم وضوح المتجه  $\frac{S-S_0}{\lambda}$  بشكل حاد بالنسبة للشبكة البلورية في الحيز المقلوب .

( The vector  $\frac{S-S_0}{\lambda}$  is not sharply defined with respect to the reciprocal lattice ) .

وانما موزع على حجم صغير من الشبكة في كثير من الحالات يكون هذا المتجه موزعا في حجم تكون فيه الداله  $G$  ذات قيمة صغيرة جدا وتختلف قليلا عن الصفر وهذا يعني ان مقطع الاستطارة للبلورة لها معدل قيمة  $(\delta^2)$  تعتمد

على قيمة  $G^2$  ولذلك نكتب

$$\bar{\delta} = E^2 \frac{\int G^2 dw}{W} \quad (17-7)$$

حيث يجري التكامل في حدود حجم شبكة الحيز المقلوب الذي يكون محتلا من قبل نهايات المتجهات  $\left( \frac{S - S_0}{\lambda} \right)$  في الحقيقة  $(G^2)$  تحتل حيزا صغيرا جدا من الشبكة ، وبذلك لا يكون هناك فرق في ان تكامل على الحجم  $(W)$  الحجم الكلي  $(\Omega)$  لوحده البناء في الشبكة ( Unit cell in the lattice ) يمكننا ان نكتب

$$\bar{\delta} = E^2 \frac{\int G^2 dw}{W}$$

ولاحظ اننا غيرنا حدود التكامل يشمل حجم وحدة البناء نظرا لسهولة التكامل ومعرفةنا لحجم وحدة البناء .

وبالا استفاد من المعادله (15-7) فيمكن كتابة المعادله التاليه

$$\Omega \int G^2 dw = \sum_m \sum_{m'} \iiint \exp[-2\pi i \{ (m_1 - m'_1) \xi_1 + (m_2 - m'_2) \xi_2 + (m_3 - m'_3) \xi_3 \}] (b_1 d\xi_1 \times b_2 d\xi_2) \cdot b_3 d\xi_3$$

$$= \Omega \sum_m \sum_{m'} \iiint \exp \{ -2\pi i [(m_1 - m'_1) \xi_1 + (m_2 - m'_2) \xi_2 + (m_3 - m'_3) \xi_3] \} d\xi_1 d\xi_2 d\xi_3$$

حيث ان

$$(b_1 \times b_2) \cdot b_3 = \Omega$$

وهي حجم وحدة البناء في الحيز المقلوب

( Volume of unit cell of the reciprocal lattice )

ان مدى التكامل لكل من (G) هو (1) والقيمة الوحيدة لكل تكامل التي لا تساوى صفرا هي

$$m_1 = m'_1 , \quad m_2 = m'_2 , \quad m_3 = m'_3$$

لهذه الظروف يكون التكامل (1) وبذلك نحصل على :

$$\oint G^2 dw = \Omega \sum_m \quad (18-7)$$

عدد الحدود في هذا الجمع (summation) هو عدد مجاميع (sets) الاعداد  $m_1, m_2, m_3$  التي تخص وحدات البناء (Unit cells) المختلفة في البلورة ، ولذلك فأنها تساوى العدد الكلي لوحدات البناء في البلورة N . بعبارة اخرى

$$\bar{\delta} = \frac{\Omega}{W} NE^2 \quad (19-7)$$

والكمية  $\frac{\Omega}{W}$  تعتمد بشكل كبير جدا على ظروف التجربة ، مثل استقرارية

الجهد المعجل للالكترونات (ripple in the high Voltage Supply)

وعلى درجة توازي الحزم الالكترونية ، وعلى النموذج المفحوص ايضا ، وننصح

القارى للالمام بتأثير هذه العوامل بصورة مفصلة وذلك بالرجوع الى Rymer وجدير بالتاكيد ، اننا نرى ان شدة الحيود لاية نقطة او خط في نمط الحيود يتناسب مع  $(E^2)$  ، والكمية  $E^2$  تأخذ قيمة بسيطة عندما تكون جميع الذرات في وحدة البناء في نفس النوع .

ولتأخذ الان امثلة عملية لحساب عامل التركيب البنائى  $(structure factor)$  ، وعلى سبيل المثال نأخذ  $(BCC)$  وكما ذكرنا

سابقا هناك اربع ذرات في وحدة البناء هذه هي :-

$$0, 0, 0$$

$$0, \frac{1}{2}, 0$$

$$\frac{1}{2}, 0, \frac{1}{2}$$

$$\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}$$

وبتعويض هذه القيم في المعادلة ( 13 ) نحصل على

$$E = f \left[ 1 + \exp\{2\pi i(\delta_1 + \delta_2)\} + \exp\{2\pi i(\delta_2 + \delta_3)\} + \exp\{2\pi i(\delta_3 + \delta_1)\} \right] \quad (20-7)$$

وقبل مناقشة هذه المعادلة ، اليك بعض العلاقات الرياضيه المغيره

$$e^{\pi i} = e^{3\pi i} = e^{5\pi i} = -1$$

$$e^{2\pi i} = e^{4\pi i} = e^{6\pi i} = +1$$

$$e^{n\pi i} = (-1)^n, \quad n = 1, 2, 3, 4, 5, \dots \quad \text{وبصوره عامه}$$

ونرجع لمناقشة المعادلة (19-7) ، وبما ان  $(\delta_1, \delta_2, \delta_3)$  هي اعداد كامله فستكون الحدود في المعادلة اما  $(+1)$  او  $(-1)$  تعتمد على حاصل جمع  $(g_s)$  داخل القوسين هل يكون عددا زوجيا او فرديا .

وبذلك تبرز حالتان

1-  $(g_s)$  جميعها زوجية او فردية

2-  $(g_s)$  خليط من الاعداد الزوجيه والفرديه . في الحاله الاولى ، الحدود الثلاثه

الاخيرة في المعادلة (19-7) تكون  $(+1)$

$$E = 4f \quad \text{اى ان}$$

$$I \propto 16f^2 \quad \text{وشدة الحيود تتناسب مع}$$

وبعبارة اخرى هناك نقطة حيود او خط حيود يمكن تسجيلها ذات شدة نسبية

معينه .

وفي الحالة الثانية هناك حدان من الحدود الثلاثة الاخيره هي ( — 1 ) والحدود والحد الاخر هو ( + 1 ) ، ولذلك يكون  $E = 0$  ولذا تكون شدة الحيود صفر ، اى لا نسجل اى معلومات من هذه المستويات — ( missing ) كما هو واضح من مناقشتنا السابقة ان كل نقطة حيود او خط حيود معين ( specified ) بواسطة ثلاثة اعداد  $(g_1, g_2, g_3)$  ، وهذه الاعداد (كامله) تعرف باعداد لاوى (Laue indices) وهذه هي نفسها او مطابقه لاعداد او دلائل ميلر (Miller indices) المستعمله في علم البلوره (crystallography) التي سبق شرحها وهي التي تعين اتجاه المستويات الذريه في البلوره التي ساهمت في تكوين نقطة او خط الحيود . ولا بد ان نذكر هنا ، أننا قبل هذه الحسابات في فصول حيود الاشعه السينيه ، وذلك لبيان التطابق في الحالتين مع اختلاف القيم عمليا تقاس الشده (كثافة الحيود) (1) بواسطة جهاز يدعى المايكروود ينسيتومير (Microdeasitometer) ، ومن ذلك يحسب

عامل التركيب البنائي ، كما يحسب نظريا ايضا لغرض التصحيح والتأكد وللتعرف على كيفية قياس الشده في حالات متعدده ننصح القارئ بالرجوع الى (Rymer) كما يعتبر كتاب Andrews et al من المصادر المهمه من الناحيه العمليه في حيود الالكترونات .

ان كل الذي تقدم ضمن النظرية الحركيه (Kinematic) لحيود الالكترونات ، حيث فرضنا ان استطرارة الالكترونات ضعيفه جدا وان سمك النموذج رقيق — الخ ، ولكن في الظروف العمليه لا يمكن ان تستخدم كل هذه الفرضيات لذلك — يجب ان نفرض كيف نجرى الحسابات على الاقل للتأكد من اننا في حدود النظرية الحركيه وخارج قوانين النظرية الدائنيكيه والتي لها قوانينها الخاصه ، وان الفاصل

بين قوانين النظريتين يدعى بمسافه الامتصاص (Extinction distance) (de) لان النظرية الحركيه تفرض عدم وجود امتصاص للحزمه الالكترونية (أثناء اختراقها البلوره وهذا عكس قوانين النظرية الدائنيكيه



لذلك يجب ان نفرض المسافة التي تسيرها حزمه الالكترونات داخل النموذج ( السمك ) قبل ان تبدأ عملية الامتصاص وهذه المسافة كما ذكرنا هي (  $d_e$  ) وطبعا هذه المسافة تعتمد على عدة عوامل منها طبيعه النموذج ( الذرات المكونه لها ) . وطاقة الالكترونات الساقطة على النموذج ، كما تختلف هذه المسافة في حالة استعمال الاشعه السينيه ( x - ray ) او حزم النيوترونات ( neutrons beam ) في تجارب الحيود وبصورة عامه يمكن حساب هذه المسافة من المعادله التاليه .

$$d_e = \frac{\pi \Omega \cos \theta}{\lambda E (hkl)} \quad (21-7)$$

حيث  $\Omega$  هي حجم وحدة البناء البلورى ( Volume of unit cell ) و  $\theta$  هي زاوية الحيود و  $\lambda$  هي الطول الموجى  $E$  هو عامل التركيب البنائي ( structure factor ) ( لنقطة الحيود او خط الحيود ذات دلائل ميلر (  $hkl$  ) ، ولتأخذ مثلا عمليا وذلك بحساب (  $d_e$  ) لنقطة الحيود (  $hkl = 111$  ) في معدن الالمنيوم فعند تعويض القيم في المعادله (20-7) نحصل على  $d_e = 200 \text{ \AA}$  عند استعمال حزمة الالكترونات ذات الطاقة 100 kV ( الجهد المعجل هو 100 كيلو فولت  $d_e = 2 \times 10^{-4} \text{ cm}$  عند استعمال الاشعه السينيه التي طول موجتها هو  $1 \text{ \AA}$  ) وكذلك فان  $d_e = 6 \times 10^{-3} \text{ cm}$  لحزمة النيوترونات ذات طول موجة ايضا ومن هذا المثال يظهر جليا ان ظاهرة الامتصاص لا يمكن اهمالها في تجارب حيود الالكترونات ( طبعا الى دقة استخلاص المعلومات ) الا اذا استعملنا نماذج غاية في الدقه ، وعند عدم امكان الحصول على مثل هذه النماذج الرقيقه في بعض المعادن والسبائك فيجب ان تلجأ الى القوانين الديناميكيه للحيود ، والتي هي خارج نطاق هذا الكتاب ، والتي يمكن دراستها بالتفصيل في المصدر Hirsch et al

## 7-7 تفسيرات نمط الحيود الالكتروني :

أبسط المعلومات التي يمكن استخلاصها من نمط الحيود الالكتروني للنماذج

البلورية هي تعيين البناء البلوري (determination of crystal lattice)

ولنفرض لدينا نمط حيود الكتروني من نموذج ذات البلورات المتعدده

( Polycrystalline ) ( أكثر المعادن والسبائك المستعمله في الصناعة

التكنولوجية هي من هذا النوع ) عندما تكون البلورات ( crystallites ) بترتيب عشوائي

بالنسبه لبعضها ، سنحصل على نمط للحيود ذات دوائر مركزيه ( Ring pattern )

وان الخطوه الاولى قياس انصاف اقطار الدوائر (R) ، وبالتعويض في المعادله

(15-7) يمكننا ان نحسب المسافات البينيّه للمسنويات الذريه لكل دائره حيود

( خط حيود ) على شرط ان يكون ثابت الكاميرا ( $\lambda L$ ) معروفا لدينا مسبقا .

ان ثابت الكاميرا يعين بطريقة المعايير ، وأبسط الطرق هو استعمال نموذج

معروف قياسي ، مثل الألمنيوم ، وبما ان المسافات البينيّه لدوائر الحيود الالكتروني

لهذه الماده معروف ومجدوله الى درجه كبيره من الدقه ، وقياس انصاف اقطار الدوائر

يمكن تعيين ثابت الكاميرا ومن ثم حساب ( $d's$ ) للنماذج المجهوله في حالة كون النموذج

بلوريا ذا نظام مكعب مثلا ، ويكون من السهل تعيين ثوابت البلوره او تصنيفها وذلك

بمقارنه نسبة انصاف اقطار دوائر الحيود المختلفه ولنفرض اننا بصدد دراسة معدن ذي

تركيب بلوري مكعب متمركز السطوح ( FCC ) وبأحداثيات الشبيكه في الحيز

المقلوب وبوحدات (b) لنقاط الحيود ( 111, 200 , 220 , 311 ..... )

حيث ان هذه هي على مسافات من نقطة الاصل مقدارها (  $\sqrt{4}, \sqrt{8}, \sqrt{11}, \dots$  )

( $\sqrt{3}$ ) على التوالي ، وبالطبع يتكون شكل الحيز المقلوب بالنسبه لنموذج ذا البلورات

المتعدده من كرات متمركزه الاقطار والمذكوره اعلاه ، وان نمط الحيود هذا هو في

الحقيقه مقطع مستوى لهذه الكرات المتمركزه من نقطة الاصل مكبره عند التسجيل

بمرات تساوي  $(\lambda L)$  ، ومن تعريف الشبيكة في الحيز المقلوب ،  $(b = \frac{1}{a})$  حيث "a" حرف وحدة البناء ( side of the unit cell )

لذلك يكون النمط متكونا من دوائر متمركزة بأنصاف اقطار :-

$$\left( \frac{\lambda L}{a} \right) [ \sqrt{3} , \sqrt{4} , \sqrt{8} , \sqrt{11} , \sqrt{12} ]$$

ونفس الطريقه يمكننا ان نبين ان البلوره ذات البناء التكعيبي الجسمي المتمركز

( Body centered cubic ) تؤدي الى حيود الكتروني بدوائر ذات انصاف

اقطار مقدارها :-

$$\sqrt{2} \left( \frac{\lambda L}{a} \right) [ \sqrt{1} , \sqrt{2} , \sqrt{3} , \sqrt{4} , \sqrt{5} , \dots ]$$

وبالنسبه للماس والمواد المشابهه ( وهي كثيره ) يكون انصاف اقطار الجيود :-

$$\left( \frac{\lambda L}{a} \right) [ \sqrt{3} , \sqrt{8} , \sqrt{11} , \sqrt{16} , \sqrt{19} ]$$

مثال

معدن غير معروف ادى الى نمط حيود يتكون من دوائر ذات اقطار وفي نفس الوقت

( mm ) 39.8 , 34.0 , 24.0 , 20 , 8 )  
استعملنا نموذج كلوريد الثاليوم ( Thallium chloride ) لغرض المعايره

فحصلنا على نمط حيود بدوائر اقطارها

( mm ) 37.2 , 32.2 , 26.3 , 18.6

عين نوع البناء البلوري وثوابت الشبيكة (مثلا) ( a , b , c , )

ملاحظة : يمكننا الرجوع الى جداول A . S . T . M

## 8.7 تعيين وحدة البناء البلوري من نمط حيود بلورة احادية : -

يمكن الحصول على البلورات الاحادية كما هي موجوده في الطبيعه ( كالكرافيت مثلا او نمو ) تكوين البلورات في المختبر ، ونمو البلورات يشكل علما بذاته ( Crystal growth ) ، وعلى كل حال ، تكون البلورة بحجم صغير جدا ( عدة مليمترا ) وبمسك لا يتجاوز الـ  $1000 \text{ \AA}$  سواء استعملنا كاميرا الحيود او المجهر الالكتروني لغرض الحصول على نمط الحيود . اما كيفية الحصول على نماذج رقيقه الى هذه الدرجة فهناك عدة طرق ، ومن هذه الطرق التبخير على سطح بلوري ( epitaxial growth ) او طريقة الطحن بالنسبه للمواد الصلده ( grinding ) او بالترياق ( etching )

بواسطة المواد الكيميائيه او القصف بالايونات السريعه ، وللتوسع في هذا المجال ( اى كيفية تحضير نماذج المعادن والسبائك وغير ذلك ، ومن الافضل الاستعانه بالكتاب المتخصص G. Thoms ) لنترجع مرة اخرى الى موضوع تعيين وحدة البناء البلوري ، لنأخذ نمط حيود عاماً لبلورة احادية ولنفحص هذا النمط لغرض تعيين حجم وحدة البناء . وان هذا النمط يتكون اساسا من شبكية مربعة من نقاط الحيود وحجم وحدة الشبيكة ( Mesh ) فيها هو  $d = \frac{\lambda L}{R}$  ( 9 . mm ) وثابت الكاميرا  $m^2 = 2.25$  . واستعمال المعادله  $d = \frac{\lambda L}{R}$  نجد ان مركز النمط هو عبارة عن شبكية مربعة وحجم الوحدة فيها هو  $40 \text{ \AA}$  (  $4 \text{ nm}^{-1}$  ) . وبلاحظ في الشكل ( 12 ) أن النقاط مرتبة بشكل مجاميع في دوائر متمركزة وبمناطق محدده وتعرف هذه المناطق بمناطق لاوى Laue ones .

ويمكن توضيح اصل مناطق لاوى في الشكل ( 7-9 ) ، حيث O هي نقطة الاصل في شبكية الحيز المقلوب و L هي نقطة لاوى كما سبق الاشارة اليها و ( Lo ) هي اتجاه الحزمه الالكترونيه الساقطة ، وبين الشكل مقطعا من كرة الانعكاس مارة خلال نقطة الأصل والمفروض أن النموذج هو ورقة رقيقة موضوعة بشكل عمودي على اتجاه الحزمه الساقطة ، فالنمط يتكون من نقاط حيود ( وهذه النقاط هي الشبكية في الحيز

المقلوب ذات كثافة معينه تحتل حيزا فيزيائيا يساوي  $\frac{1}{t}$  ، حيث  $t$  هو سمك النموذج  
 لقد تعمدنا في الشكل (7-7) ان نرسم لنقاط الحيود بخطوط قصيرة وكذلك كبرنا  
 القياسات لفرق التوضيح والا لا يمكن توضيح كرة الانعكاس - والنقاط التي تمر بها .  
 ولاحظ ان كرة الانعكاس تتقاطع مع نقاط شدة الحيود في  $a, b, c$  وقد علمت  
 نفس النقاط في الشكل (9-7) بنفس الحروف لغرض المقارنه من العلاقات الهندسيه  
 للدائره ، نرى ان المسافه  $go$  من الخط  $(oL)$  في نقاط الشبيكه الحيز المقلوب  
 في الصف الاسفل  $(Bottom Row)$  وذات خطوط الكثافه المتقاطعه مع كرة  
 الانعكاس تساوي .

$$go^2 = \left(\frac{1}{t}\right)\left(\frac{2}{\lambda}\right) \quad (22-7)$$

ومن العلاقه المعروفه

القياس على اللوح الفوتوغرافي

$$\frac{\text{القياس على اللوح الفوتوغرافي}}{\text{القياس الحقيقي في الحيز المقلوب}} = \lambda L$$

$$(23-7)$$

نستنتج ان نقاط الحيود في مركز النمط يجب ان تكون في حدود دائره نصف قطرها

$$R_0 = (\lambda L) \delta_0 = \left(\frac{2\lambda t^2}{t}\right)^{1/2} \quad (24-7)$$

(في الشكل (7 - 10) منطقه لاوى ذات الدرجه صفر (Zero order) ) والمثله

بدائرة لها نصف قطر يساوي (18mm) ومن المعادله (22-7) و (23-7)

والمعلومات المؤشره اسفل الشكل (7-10) نستنتج ان سمك النموذج  $(t)$  هو

$t = 6.9 \text{ (nm)}$  اي  $69 \text{ \AA}$  وبصوره عامه فان نصف قطر منطقه لاوى لايه درجه

(في الشكل 12 ، الدائره في المركز ذات الخط المستمر هي ذات درجه صفر والمنطقه

التي تليها ومرسومه بخطوط متقطعه هي ذات درجه واحده والتي تليها ذات الدرجه 2

$$R_n = (\lambda L) \delta_n \quad , \quad n = 1, 2, 3, 4, \dots \text{ هو : } \delta_n = n C^* \left(\frac{2}{\lambda}\right)$$

حيث \* C هي المسافة البينية للمستويات في الحيز المقلوب

(seperating of the planes of the reciprocal lattice)

مما سبق رأينا ان نمط الحيود في الشكل (7-9) والذي يمثل الحيز المقلوب يتكون من مستويات متوازية وكل مستوى يتكون من نقاط تكون شبكة مربعة الشكل وحجم كل وحده في الشبكة هو  $4\text{nm}^{-1}$  أي  $(40\text{\AA})^{-1}$  ، وملاحظة الشكل (12) بصورة دقيقة نلاحظ أن النقاط الواقعة في المنطقة ذات الدرجة الاولى (First order zone) لا تقع على نفس خطوط شبكة المنطقة ذات الدرجة صفر او المنطقة ذات الدرجة الثانية .

ان النقاط المكونة شبكة المنطقة صفر والثانية لو استمرت لتغطي المنطقة ذات الدرجة الاولى ، لادى ذلك الى ان كل نقطة في منطقة الدرجة الاولى تقع في مركز وحدة الشبكة المتكونة من منطقة صفر والثانية ، وتفسير ذلك ان هذه الشبكة هي تركيب بلوري من نوع (BCC) بناء بلوري تكعيبي ممرکز في الوسط (Body centered cubic) ولهذه البلورة وحدة ذات حرف  $4\text{nm}^{-1}$  أو  $(40\text{\AA})^{-1}$  وبأستعمال العلاقة بين الحيز المقلوب والحيز الاعتيادي ، ترى ان التركيب البلوري هو (FCC) (كان في الحيز المقلوب (BCC) وهذه البلورة وحدة بناء بحرف  $0.5\text{nm}$  أي  $5\text{\AA}$  . وهذا المثال يبين لنا

كيف نفسر الحيود من بلوره احاديه للحصول على معلومات هندسيه وقياسا فيزياوية عن التركيب البنائي للبلوره على المستوى الذرى ، ولكن هذه المعلومات ليست هي الوحيدة التي نحصل عليها من تجارب الحيود وسنرى مستقبلا اننا سنستفيد من شدة نقاط الحيود (intensity) او دوائر الحيود لتعيين احداثيات مواقع

الذرات في داخل وحدة البناء وأطوال الأواصر بينها والزوايا بين هذه الأواصر وغير ذلك وبما ان هذه الطريقة هي نفسها تقريبا في حالة استعمال الأشعة السينية في تجارب الحيود ولذلك سنبحثها في فصل حيود الأشعة السينية أيضا .

## 9.7 تأثير الانكسار : - Refraction effect

انكسار الموجه الالكتروني : - كما معروف ان البلوره (Crystal) تتكون من صفوف الذرات مرتبه في مستويات تدعى بالمستويات الذريه (Atomic planes) الذرات هذه وكما هو معروف تحمل شحنة موجبه في نواتها (بروتونات) ومحاطه بغيمه من الالكترونات السالبه الشحنة . صفوف الذرات تلك موزعه في حيز وثلاثة ابعاد

### (Three dimensional distribution)

الشحن الكهربائيه المتمثله بنويات الذرات وما يحيطها من الكترونات موزعه بشكل غير متجانس داخل الحيز .

ونتيجه لذلك يتولد داخل البلوره جهد الكهربائيه الساكنه ، ويكون هذا الجهد منفصلا او غير مستمر (discontensious) بل يكون دوريا (periodic)

وبغير نفسه بفترات تعتمد على المسافه البينيه للذرات في البلوره

### (periodicity of the crystal lattice)

يمكننا تمثيل الجهد الكهربائي داخل البلوره بالمعادله التاليه

$$V = \sum_g V_g e^{2\pi i \vec{g} \cdot \vec{r}} \quad (25-7)$$

حيث يمثل «g» معجه الشبكه البلوريه في الحيز المقلوب

### (reciprocal lattice vector)

في الحقيقه ان سبب حيود الحزمه الالكتروني لئاده خلال البلوره هذه هو الجهد الكهربائي الدوري المذكور اعلاه وكما سوف نوضح ذلك فيما بعد .

التفسير الفيزيائي لشكل المعادله (25) الرياضي والذي يتكون من عدة حدود

في جهة المعادله اليمنى هو : -

الحد الاول يشير الى مقدار الجهد (potential) داخل البلوره ويعرف

بالخذ ذي الدرجة الصفريه (zero order) ، يختلف عن الجهود المحيطة داخل البلوره ( عن الحدود الاخرى ) .

قيمة الجهد (VO) هذا يساوي تقريبا (VO) وقيمتها موجبه دائما وتعرف بالجهد

الداخلي للبلوره (Inner potential of the crystal) كثيرا ما تقاس

هذه الكميه بطرق مباشره . الشكل التالي (10-7) يمثل مستويين ذريين متجاورين

لسطح البلوره،النقاط السوداء تمثل الذره ( الشحنة الموجبه) ومحاطه لحدود الدائره التي تمثل الغيمه الالكتروني .

من الواضح ان الشحنة الكهربائيه الموجبه ( +ve ) متمركزه على المستوى AA

اما الشحنة السالبه فيكون تمركزها على المستوى BB .

هذان المستويان يشبهان الى حد كبير المكثفه الكهربائيه ( ذات المستويين

المتوازيين) بذلك سيتكون مجال كهربائي ساكن من المستوى BB متجه نحو المستوى

AA ، وهذا يعنى الجهد الكهربائي في المستوى AA وما دونه في البلوره سيكون أعلى بكثير

من تلك المناطق التي تلي AA نحو خارج البلوره .

ان كل ذلك يعين حدوث فرق في طول الموجه الساقطه او المسلطه على البلوره

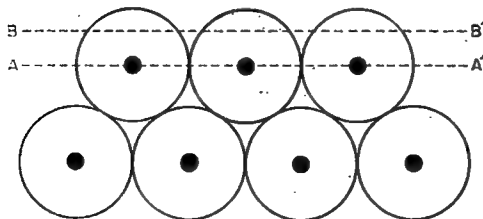
عن تلك التي تخترقها خارجها من النهايه الادنى.الذي نريد قوله هو ان البلوره سوف تكسر

(refract) الحزمه الالكتروني الساقطه بنفس الطريقه التي ينكسر الضوء

عند مروره من مجال الى اخر يختلفان في الكثافه ( مثل مرور الحزمه او الاشعه الضوئيه

من الهواء الى الزجاج والعكس) .

والان اذا افترضنا ان الجهد المعجل للالكترونات المسلطه هو ( V ) ، فستكون



شكل (10-7)



الطاقة الحركية لهذه الالكترونات ' eV ' حيث تمثل e شحنة الالكترون . الطاقة eV تمثل طاقة الالكترونات الحركية خارج البلورة .

اما داخل البلورة ، الطاقة الحركية للالكترونات تساوي  $(V + V_0)$  ، علما ان تمثل الجهد الداخلي للبلورة كما ذكرنا سابقا .  
نستطيع القول ان معامل الانكسار للبلورة يساوي ما يلي : -

$$\mu = \frac{\lambda_{vacuum}}{\lambda_{crystal}} \quad (26-7)$$

حيث تمثل كل من  $\lambda_{vacuum}$  ،  $\lambda_{crystal}$  الاطوال الموجبة للالكترونات خارج وداخل البلورة على التوالي .

$$\mu = \frac{(V+V_0)^{1/2}}{V} \approx 1 + \frac{V_0}{2V} \quad (26-7)$$

اذا كانت سرعة الالكترونات كبيره خارج البلورة .  $\frac{V_0}{V} \ll 10^{-3}$

اذا افترضنا سرعة الالكترونات ( قريبه من سرعة الضوء ) عند ذلك يجب استخدام مفاهيم ومعالجات الميكانيك النسبي ، وبذلك يكون معامل الانكسار مساويا الى ما يلي .

$$\mu = 1 + (V_0/2V)(1 + eV/2mc^2) \quad (27-7)$$

$m'e$  تمثلان شحنة وكتله الالكترون ، اما c فتمثل سرعة الضوء .  
لنحاول الان دراسة انكسار الحزمه الالكترونيه عند سطح البلورة ، الشكل التالي يوضح الفكرة .

حيث تمثل  $\phi$  زاوية انكسار الحزمه داخل البلورة .

بتطبيق مفاهيم قانون سنيل (Sneals Law) في الانكسار : -

$$\cos(\phi - \epsilon) = \mu \cos \phi$$

او ان

$$\epsilon = (1 - \epsilon) \cot \phi = \frac{V_0}{2V} \cot \phi \quad (29-7)$$

كما وبمكتنا كتابة قانون سنيل بشكل اكثر افاده في مجال تطبيقات الحيو كما

هنالك اجهزه تعمل بجهد اكبر من هذا وخصوصا في حالات استخدامات المجهر

الالكتروني لدراسات الحيود وتعرف بالجهد العالي ( high voltage )  
وتتراوح بين ( 200-1000 Kv )

كما ان هنالك انظمه حيود الالكترونات المعجله بجهد واطئه ( LEED )  
ويكون مدى الجهد المعجل بحدود بضعة مئات من الفولتات سوف نتكلم عن هذين  
النظامين تباعا .

### 10.7 حيود الالكترونات ذات الطاقه العاليه : - High voltage - electron diffraction.

يتم الحصول على هذا النوع من الالكترونات في اجهزه المجهر الالكتروني التي  
تعمل بجهد تعجيلي قدره 1 Mev او اكثر ان فائدة استخدام الالكترونات ذات الطاقات  
( High voltage electron Transmission Electron Microscope )

الطاقات العاليه كثيره ومن اهم تلك الاستخدامات هي الدراسه الفيزيائية والهندسيه  
لنماذج سميكة نسبيا ، حيث تخترقها الالكترونات ذات الطاقه العاليه ، وحيث تمتلك  
هذه الالكترونات أطوالا موجيه غايه في الصغر ، وهذا ما يسهل بعض التغيرات النظرية  
في تجارب الحيود . سنحاول هنا التركيز على المعنى الفيزيائي ، او بالاحرى فائدة قصر  
طول الموجه وكما ذكرنا سابقا ، ان كرة الانعكاس تمتلك نصف قطر قدرها  $(\frac{1}{\lambda})$   
لذلك عندما تكون الموجه قصيره يكون نصف القطر الكبير وتلك يقل انحناء كرة  
الانعكاس كثيرا حتى يقترب الانحناء من المستوى . وهذا يعني ان كرة الانحناء سوف  
تتقاطع مع عدد كبير من نقاط الحيود ( نقاط الشبيكه في الحيز المقلوب )

كما يجب الا يفوتنا ذكر ان  $r_{de}$  مسافه الامتصاص ) تزداد ايضا عند زياده  
الجهد المعجل للالكترونات ، كل هذه العوامل تجعل تفسير انماط الحيود الالكتروني  
اسهل في الحقيقه هنالك الكثير من الفوائد في استعمال الالكترونات ذات الطاقه  
العاليه تخص الباحثين في مجال المعادن وبوسع الذين يهمهم الامر ان يرجعوا الى

. DUPOUY et

قياس الجهد الداخلي :

المعادله رقم 1 (288) تشير الى ان الانحراف المتسبب عن الانكسار يكون كبيرا

كلما كانت زاوية الحزمه الالكترونيه مع السطح صغيره (The glancing angle)

ان معظم قياسات الجهد الداخلي لبلورات المواد المختلفه تجري وذلك بقياس

ودراسه نمط الانكسار عن سطوح البلورات ( يجب ان تكون السطوح ملساء smooth ونظيفه الى درجه كبيره على مستوى ذرى ) .

انظر الشكل ( 7 - 11 ) يمثل حزمه الكترونيه مسلطه على سطح بلوره وزاويه

مقدارها  $(\phi)$  ، اما زاوية الانعكاس عن السطح الموازي للسطح وبعد الانكسار فتمثل

$$\cos \phi = \cos \theta \quad (\theta) \text{ زاوية براك}$$

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad \text{وبذلك يكون}$$

حيث تمثل "d" المنافه البينييه للمستويات الذريه و "n" تمثل درجه الحيود

( order of diffraction ) .

من المعادلتين نستطيع الحصول على ما يلي :

$$\sin^2 \phi = \frac{n^2 \lambda^2}{4d^2} = \mu^2 - 1$$

الطريقه العمليه للقياس ، هي جعل البلوره تدور وبشكل بطيء وبذلك يستطيع

الحصول على انعكاسات لدرجات مختلفه ( n = 1 , 2 , 3 , 4 , ..... )

حيث يتكون نمط الحيود على شكل نقاط على اللوح الفوتوغرافي والذي تجري

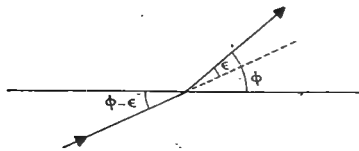
عليه قياسات والان ويرسم  $\sin^2 \theta$  مع  $n^2$  نحصل على قيمه  $V_0$  وذلك بالاستعانه

$$\mu = 1 + V_0/2V \quad \text{بالعلاقه .}$$

كل ما تقدم كان يعني الالكترونات المعجله بجهد يتراوح ( 20kv - 100 )

وهذا المدى من الجهد المعجل يدعى بالجهد الاعتيادى او التقليدي

( Conventional voltage ) .



شكل (7-11)

$$K_0 = \frac{2\pi}{\lambda_0}$$

$$K = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$\mu = \frac{K}{K_0} \quad \text{بلي : -}$$

حيث ان

ويعرفان بالعدد الموجي .

$$\therefore K_0 \cos(\theta - \epsilon) = K \cos \phi$$

المعادله الاخيره ، تشير الى ان مركبه الموجه الماسه للسطح ( Tangential to

the surface ) لا تتغير عند دخول الموجه الى البلوره ، وهذه حقيقه هامه ، حيث

لا بد ان تكون هناك استمرارية في دالة الموجه "  $\psi$  " في حدود البلوره

(At the crystal boundary)

لنفرض الان المسافه بين النموذج واللوح الفوتوغرافي هي ،  $L$  ، بذلك يصبح

الانحراف عن الموقع الذي يجب ان يقصف به اللوح الفوتوغرافي في حالة عدم وجود

$$\Delta_1 = L\epsilon = \frac{LV_0}{2V} \cot \phi \quad \text{تأثير للانكسار هو : -}$$

اما اذا كانت البلوره او النموذج المفحوص على شكل اسفيني (wedge shaped

crystal) . في هذه الحاله تكون محصله الانحراف عبارة عن جمع اتجاہي

للانحرافين وتأثير الانحراف نتيجة الانكسار ويؤدى الى كبر نمط الحيود ويؤثر بالتالي

في دقة المعلومات المستخلصة . وهذا الخطأ هو بحدود % 2 - 3 .

## . Low Enagy -

### 11.7 حيود الالكترونات ذات الطاقة الواطئه : - Electron Diffraction

في هذه الحالة تستخدم الالكترونات المعجلة بجهود تتراوح بين .....  
10v - 500 ) وبذلك تخترق النماذج الى مسافات قصيره جدا السمك الذي تخترقه  
هذه الالكترونات لا يتعدى سمك عدة ذرات ( او بضع مسافات ذريه داخل البلوره ) .  
لذا فان لهذه الطريقه اهميه ومكانه عظيمتين في دراسة تركيب سطوح المعادن  
وخواصها الفيزيائيه والكهربائيه نظرا لاهميتها في التطبيقات التكنولوجيه ، ويصطلح على  
هذا النوع من الالكترونات ( LEED ) .

من اهم اجزاء الكاميرا المستعمله في هذا النوع من الدراسة ، هو المصدر الالكتروني  
الذي يولد الكترونات احاديه الموجه و (احاديه الطاقة ) لحزمه مقطعه العرضي يساوي  
حوالي 1 ملم 2 . تسلط هذه الحزمه على سطح النموذج المطلوب فحصه ، وعند انعكاسها  
من السطح ( يتم الحيود عن المستويات الذريه ) تسجل على لوح فوتغرافي لغرض التحليل  
ان الكتاب هذا لا يتسع لشرح وتفصيل المجالات التطبيقيه والنظريه للدراسة  
السطوح . باستخدام الحيود الالكتروني ذات الجهد الواطي . لغرض الفائده نعدد بعض  
المجالات ذات التطبيق التكنولوجي مثل : -

( ١ ) دراسة سطوح المعادن او السبائك المساعده في التفاعلات الكيميائيه في الصناعات  
الكبيره (Catalysis)

( ٢ ) دراسة العناصر الخفيفه العالقه على سطوح المعادن الثقيله مثل الاوكسجين والهيدروجين  
على سطح النيكل وغيرها .

( ٣ ) دراسة سطوح المعادن المهمه في الصناعات مثل النيكل .

( ٤ ) الاهتزازات الحراريه للذرات في سطوح المعادن .

( ٥ ) دراسة التآكل Corrosion .

( ٦ ) دراسة سطوح اشباه الموصلات (Semiconductors) مثل السليكون  
والجرمنيوم .

## الفصل الثامن

---

## 1.8 حيود النيوترونات : Neutron Diffraction

يُحصل على النيوترونات الحرارية من قناة من اقنية المفاعل النووي عادة لأغراض دراسات الحيود. وهذه النيوترونات لها طيف من الطاقة الحركية، لذلك تمرر من خلال بلورة أحادية لغرض الحصول على حزمة نيوترونات ذات موجه أحادية (monochromatic) حيث تسلك البلورة سلوك المصفاة كما الحالة في الأشعة السينية وبعد عملية الترشيح (filter) هذه تستعمل النيوترونات لغرض دراسة حيودها من المواد المختلفة وإذا فرضنا  $E$ ، هي الطاقة الحركية للنيوترونات أي :-

$$E = \frac{1}{2} m v^2 \quad (1-8)$$

حيث  $m, v$  هما كتلة النيوترونات (كتلة النيوترون  $= 1.67 \times 10^{-27} \text{ gm}$ )

فيكون طول الموجه المصاحبه لحركة هذه النيوترونات هي

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE}} \quad (2-8)$$

وكما هو معروف  $h$  هو ثابت بلانك.

ولقد ذكرنا أن هذه النيوترونات حرارية (Thermal neutrons) أي أن الطاقة الحركية لمعظمها هي  $KT$ ، حيث  $K$  ثابت بلانزمان و  $T$  درجة الحرارة المطلقة وبذلك تكون المعادلة (2) كما يلي :-

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mKT}}$$

درجة الحرارة ( $T$ ) تكون في القدر  $300-400 \text{ K}$  أي أن طول الموجه لحزمة النيوترونات تكون بين  $2\text{Å}^0 - 1$ ، بعبارة أخرى في القدر نفسه لطول موجه الأشعة السينية.

نجرى تجارب بواسطة جهاز يدعى جهاز المحيد النيوتروني (Neutron

Diffractometers)

، حيث تقاس شدة نقاط الحيود من النموذج (Intensity) بواسطة كاشف أو حاسب مملوء بغاز  $\text{BF}_3$ . والفرق الرئيسي بين حيود النيوترونات من جهة وحيود الالكترونات والأشعة السينية من جهة أخرى، ( $Z$ ) هو في اختلاف اعتماد قوة الاستطارة

الذرية على  $Z$  ( العدد الذري ) وزاوية الاستطارة (  $2\theta$  ) . فمثلا تزداد قوة الاستطارة في حالة الالكترونات والاشعة السينيه مع ازدياد العدد الذري ( $Z$ ) وتقل بأزدياد الزاويه . بينما تستطير النيوترونات بنفس الشدة لكافة الزوايا ، اى ان الاستطارة لا تعتمد على الزاويه كما الحال في حيود الالكترونات والاشعه السينيه . كما ان استطارة النيوترونات لا تعتمد على العدد الذري ( $Z$ ) بشكل رئيسي . وهاتان الخاصيتان تجعلان حيود حزمة النيوترونات من افضل الطرق والتي لا بديل لها لدراسة التركيب البنائي للمواد ذات الذرات الخفيفه  $Low\ Z$  . ونؤكد هنا مرة اخرى ان للذرات المختلفه قوة عامل استطارة مختلفه ، لا تعتمد على العدد الذري ، بل تختلف بعض الشيء اختلافا عشوائيا . حيث تكون قوة عامل الاستطارة للذرات الخفيفه اكبر في بعض الحالات من الذرات الثقيله لذلك يمكن الحصول على معلومات عن مواقع ذرات الهيدروجين والكربون مثلا في بلورة تتكون اصلا من الذرات الثقيله ، مثل الحديد لا يمكن الحصول على هذه المعلومات في حالة استعمال الاشعة السينيه او الالكترونات مطلقا .

يمكن ان نلخص ذلك بأن الاشعة السينيه تخبر ، عن توزيع الشحنة الكهربائيه في المادة (Electrical charges) بينما نمط حيود الالكترونات يعطي معلومات عن توزيع الجهد الكهربائي في البلوره (Potential) والنيوترونات ترى النويات (Nucli) من خلال تفاعلها مع القوى ذات المدى القصير لهذه النويات ومن اهم تطبيقات حيود النيوترونات هي في دراسة الخواص المغناطيسيه للمواد على المستوى الذري ودرجة كبره من الدقه . حيث للنيوترونات خاصية اللف (Spin) وكذلك للذرات في المواد المغناطيسيه فتستطير النيوترونات مغناطيسيا وينعكس ذلك في مقدار شدة وموقع نقاط الحيود ، التي فيها تستنتج الخواص المغناطيسيه وللغور في تكنيك حيود النيوترونات انظر Bacon على سبيل المثال .



## الفصل التاسع

---



لقد قلنا ان فصل حيود الالكترونات في هذا الكتاب ان المجهر الالكتروني يعتبر جهاز حيود ، سواء في حالة استعماله ككامره حيود الالكترونات السريعة او استعماله كمجهر لدراسة الترتيب البنائي للمواد وكلتا الطريقتين هما عملية حيود ، ليس نمط الحيود الا صورته للجسم في الحيز المقلوب او في حيز فورير ( Fourier space ) .

وهناك علاقة مترابطة ، واحدة بواحدة ، بين نمط حيود الجسم وصورته ونظرا لان استعمال تكنيك او طريقه الحيود هو لاستخلاص المعلومات عن التركيب البنائي للمادة بتحليل عال جدا يصل الى المستوى الجزيئي والذري ، وكذلك يستعمل المجهر الالكتروني لتحقيق نفس الغرض ، ونظرا لازدياد اهمية المجهر الالكتروني كجهاز فعال في كافة مجالات البحث الفيزيائية ، الهندسية ، البايولوجية يوما بعد يوم رأينا من المفيد ان يعرف القارئ على المبادئ الاساسية للمجهر الالكتروني .

لابد لنا ان نبدأ نبذة تاريخيه عن المجهر بصوره عامه ومن ثم نبين التسلسل التاريخي والعلمي في تطور المجهر كجهاز مهم في مجالات البحث العلمي . وكذلك التطور العلمي الذى ادى الى بناء المجهر الالكتروني وما أحدثه هذا الجهاز الفيزيائي من قفزة كبيرة الى الامام في علوم الفيزياء والطب والاحياء وعلم المادة بصوره عامه .

من الملاحظ ان الانسان ومنذ القدم كان يرغب في اكتشاف الحقائق الدقيقة التي هي خارج قابلية النظر الاعتيادي ( التفاصيل التي لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة ويعتبر المجهر الضوئي البسيط والذي يتكون من عدسه لامة من اقدم الاجهزة العلمية التي استعملها الانسان ، حيث عثر الاثرى ليارد على عدسه لامة من الصخر الشفاف (Rock Crvstal) في قصر نمرود يعود تأريخها الى سنة ٨٦٠ قبل التاريخ .

وقد استعملت العدسات المكبره البسيطة منذ القدم ايضا ، ويمكننا ان نتبع التاريخ بصوره دقيقه لنرى ان العدسات المصححة للنظر قد استعملت منذ ٦٠٠ سنه على الاقل . على كل حال تعتبر العدسات المشار اليها بدائيه وضعيفه قياسا لما عليه الحال في صناعة العدسات في الوقت الحاضر . وتعتبر الفترة الاولى في صناعة العدسات ذات البعد البؤرى القصير ابتداء من تاريخ صناعة المجهر الضوئي المركب من قبل هانزسانزا وابنه فواجايز في نهاية القرن السادس عشر .

## 2.9 القوة التحليلية للمجهر : Resolving Power

( رؤية جسمين أقرب ما يكون لبعضها بوضوح )

كان يعتقد بأنه من الممكن رؤية ادق التفاصيل في البناء الداخلي للمادة باستعمال

المجهر ، اذا ما احسن صنع عدسات مثاليه وذات تكبير كبير . الا ان العالم Abbe وضع حدا لهذه المعضلة باستنتاجه العلمي الذى مفاده ان القوة التحليلية لاية عدسة تكون محدده بظاهرة الحيود التي تحدث للموجات المستعمله في عملية الرؤية . وطبيعي هذا يعني ان طول موجة الضوء وفتحة العدسه يحددان القوة التحليلية للمجهر الضوئي واذا اعتبرنا ان الضوء ذو طبيعة موجبة .

يمكن كتابة القوة التحليلية ( R ) بالشكل التالي :

$$R = \frac{1}{\mu \sin \theta} \quad (1-9)$$

عادة يعبر عن  $\mu \sin \theta$  بالفتحة العددية

"N.A" (Numerical Aperture) . في الواقع المعادله رقم (1-9)

اشتقت ضمن معيار Rayleigh

(Rayleigh Criterion) كما هو مبين في المعادله ان القوة التحليلية

رؤية جسمين أقرب ما يكون لبعضها بوضوح ( تتناسب مع طول الموجة اي

انه نحصل على قوة تحليلية عاليه ) (High Resolution) كلما قصرت طول الموجه

واذا اعتبرنا امكانية التكنولوجيا المعاصره في صنع العدسات ( الخاليه نسبيا من العيوب )

فلا يمكن ان نرى تفاصيل اصغر من  $7000 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ cm}$  عند استعمال الضوء

المرئي كمصدر أضاءه ( معدل طول موجه الضوء المرئي يساوي  $7000 \text{ \AA}$  والشيء المراد

من هذه المقدمه هو محدوديه القوه التحليلية للمجهر الضوئي  $7000 \text{ \AA}$  مع فيض استعمال

احدث المعطيات التكنولوجيه في المستقبل وبعبارة اخرى تحديد

طبيعي لا يمكن تعديده . هذه الحقيقة بدت واضحة من زمن بعيد وبالتحديد منذ ان اطل علينا Abbe بنظريته سنة ١٨٨٠م وطبيعي لم يتوقف طموح طلاب الحقيقة عند هذا الحد وكانوا يترقبون مولد طفرة جديدة في العلم تمكنهم من من الغور في أعماق المادة ودراسة تفاصيلها على المستوى الذري .

كانت بداية الطفرة هي في ان تترك اشعاعات الكهرومغناطيسية كمصدر للاضاءة والبحث عن مصدر جديد . ولحسن الحظ تحققت هذه الرغبة عندما اكتشف طالب الدكتوراه الفرنسي Louis de Broglie وهو يكتب في اطروحته في منتصف سنة ١٩٢٠ ان طول موجة (  $\lambda$  ) تستصحب الجسيمات المادية المتحركة (وبعبارة اخرى الطبيعية الموجبة للمادة) اثبتت هذه النظرية تجريبيافيا بعد .

ينص قانون De Broglie على : (1-9)  $\lambda = \frac{h}{p}$

حيث  $h$  ثابت Planck و  $p$  زخم الجسيمات المادية ( Momentum ) ونحن هنا نعني بالجسيمات المشحونة - ( لسهولة تبورها ( Focusing ) وبالتحديد الالكترونات . ومن المعروف انه يمكن تعجيل الالكترونات الى الطاقة اللازمة وذلك بامرارها خلال فرق جهد  $V$  . ومن المستحسن هنا ان نعبر عن الزخم  $P$  في المعادلة رقم (٢) بدالة  $V$  . فاذا عجلت الالكترونات ذات الشحنة (e) بين فرق جهد الصفر و  $V$  فيخبرنا قانون حفظ الطاقة ان :

$$Ve = \frac{1}{2} m^2 v^2 = \frac{p^2}{2m} \quad (2-9)$$

حيث ان  $m$  هي كتلة الالكترون و  $v$  سرعته . واذا اعتبرنا ان الالكترون يكون ساكنا

$$P = (2meV)^{\frac{1}{2}} \quad \text{عند } V = 0 \quad \text{وبالتعويض في معادله (1-9)}$$

$$\lambda = \frac{h}{(2mV)^{\frac{1}{2}}} \quad \text{وبالتعويض عن العوامل الثابتة للالكترون تكون المعادلة (3-9)}$$

$$\lambda (A^\circ) = \frac{12}{V^{\frac{1}{2}}}$$

حيث  $\lambda$  تكون بوحدات  $A^\circ$  و  $V$  تقاس بالفولت .  
ندرج ادناه قيمة  $\lambda$  للالكترونات كدالة للفولتية المعجمله :

(حيود الالكترونات السريعة)

(المجهر الالكتروني)

| kv  | A <sup>0</sup> |
|-----|----------------|
| 20  | 0.087          |
| 100 | 0.037          |
| IMV | 0.0055         |

قارن طول  $\lambda$  للالكترونات مع  $\lambda$  للجزء المرئي من طيف موجات -  
الكهرومغناطيسية 3000 - 8000 A<sup>0</sup>

وعليه يمكن كتابة معادلة القوة التحليلية للمجهر باستعمال الالكترونات مصدراً

$$R = \frac{0.5\lambda}{\sin\theta} \quad (4-9) \quad \text{كما يلي :-}$$

حيث  $R$  تساوي واحداً في هذه الحالة لاستعمال الفراغ ( كما سناقش ذلك فيما بعد) بين العينة والعدسة. وتستعمل عادة عدسة شبيثة (كهرومغناطيسية) للمجهر الالكتروني ذات فتحة صغيرة جداً فيمكننا أن نقول هنا ان القيمة المثلى للقوة التحليلية للمجهر الالكتروني في جزء من الانكستروم ( A<sup>0</sup> ) ولكن المصاعب العملية في بناء عدسات مغناطيسية خالية من العيوب تحدد القوة التحليلية (A<sup>0</sup> 5 - 2) وهناك في الوقت الحاضر مجاهر تحت البناء بعدة مختبرات في العالم للحصول على قوة تحليلية قدرها 1 A<sup>0</sup> ولا بد هنا من الإشارة الى الناحية التاريخية والجهود في بناء المجهر الالكتروني اول المحاولات لبناء المجهر كانت سنة ١٩٣٣ في برلين بالمانيا من قبل نول وروسكه ويوش ، وأستمرت المحاولات الى ان جاءت .

الحرب العالمية الثانية حيث توقفت البحوث بهذا الاتجاه واستؤنفت بعد الحرب العالمية الثانية محاولات بناء المجهر الالكتروني ليس في المانيا وحدها بل في اوربا وامريكا الشمالية .

### 3.9 مكونات المجهر الالكتروني :

يتكون المجهر الالكتروني ببسط الاحوال من الاقسام التاليه :

١ - مصدر الالكترونات Electron gun

٢ - عدسات مكثفه

٣ - عدسه شيشيه

٤ - عدسات مكبره

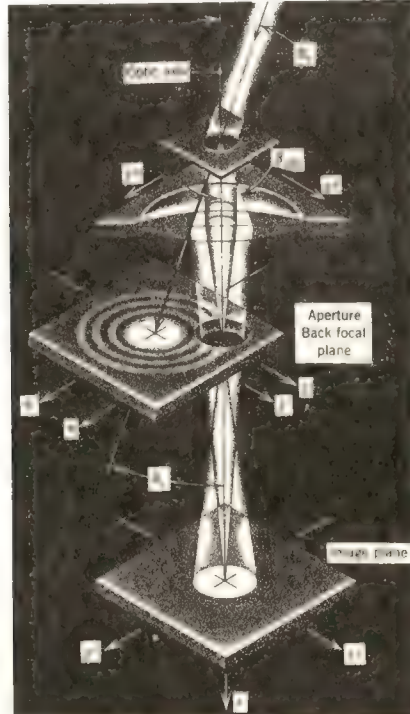
٥ - شاشه

٦ - كامره للتصوير

-6

وتكون كل هذه الاجزاء داخل انبوب يفرغ من الهواء الى حوالي 10 torr بدعى بالاسطوانه (column) والعدسات هنا عدسات مغناطيسيه تغذي بالتيار من الخارج .

والشكل رقم (9 = 1) يصف المجهر تخطيطيا



شكل (1-9)

#### 4.9 مصدر الحزمة الالكترونية :

عند بناء مجهر الكتروني نحتاج الى مصدر للحزمة الالكترونية ( المستعمله كمصدر للاضاءة ) ويجب ان تكون هذه الحزمة متشابهه وجميع الالكترونات فيها تسير بسرعة واحده ( Coherent ) وبالطبع هذا الشرط مهم جدا في عملية الصورة . وهناك عدة طرائق لتوليد الحزمة الالكترونية ، او انبعاث الالكترونيه من المواد الصلبه ولكن اهم هذه كلها هي طريقتان : -

١ - الانبعاث الحرارى : (Thermal emission) وتعتبر هذه الطريقه هي الشائعه في المجاهر الالكترونيه .

٢ - الانبعاث المجالي : (field emission) لهذه لهذه الطريقه حسناات كثيره مقارنة مع الاولى ولكن هناك عدة صعوبات عمليه في استعمالها .

الطريقه الاولى ، تسخن فتيله معدنيه (Metal filament) وهذا يؤدى بأن تترك الالكترونات المعدن الصلب عابرة السطح الى الخارج وفي هذه الحاله تعمل الفتيله على شكل حرف  $\gamma$  كما في الشكل ( 2-9 ) وهناك اشكال اخرى كثيره . وعندما تترك الالكترونات سطح الفتيله ، تكون ساكنه الى حد ما ( ذات طاقه  $lev$  ) ، ومن هنا تعجل خلال فرق جهد  $100 \text{ KV}$  مثلا او اكثر حسب نوع المجهر كما في الشكل ( 3-9 ) والعلاقه الرياضيه للاضاءة  $B$  والتي تعني في المجهر الالكتروني كثافه التيار لوحدة الزاويه المجسمه هي :

$$B = \frac{JeV}{\pi KT} \quad (4-9)$$

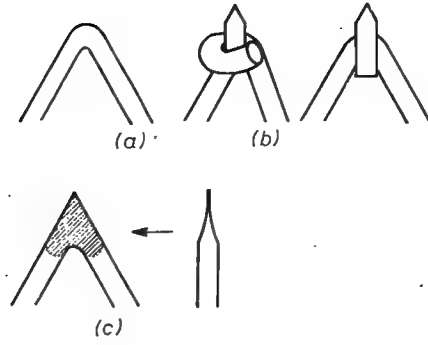
حيث فرق الجهد بين المهبط والمصدر  $V$

$T$  درجه حراره الفتيله بالمقياس المطلق ( $K^0$ )

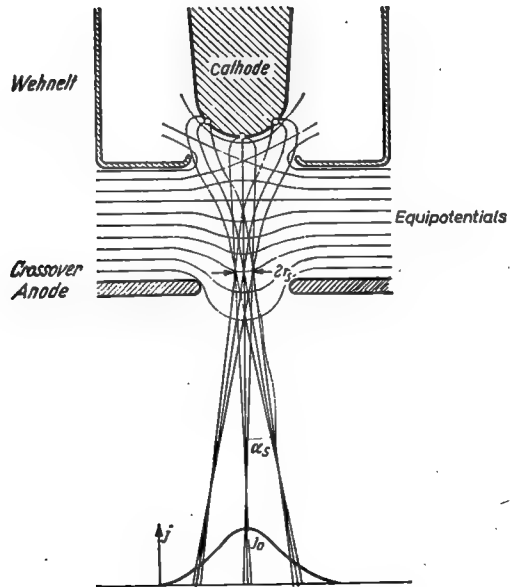
$J$  كثافه التيار المنبعث من الفتيله

$e$  شحنة الالكترون و  $K$  ثابت بلا تزمان .





شکل (2-9)

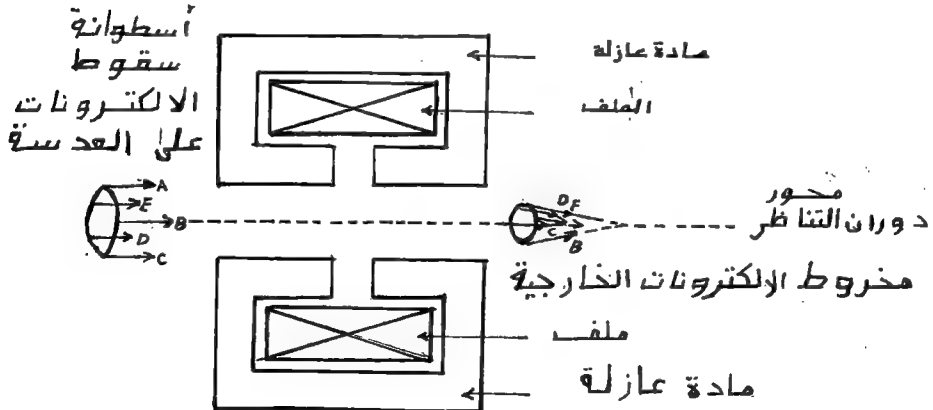


شکل (3-9)

في حالة الفتيلة التي وصفناها انفا تكون درجة الحرارة حوالي  $2800 \text{ K}$  ،  $J$  في حدود  $0,035 \text{ AMM}$  وبذلك تكون الأضواء 'B' ،  $2 \text{ AMM Msr}$  وللاطلاع على تفصيل أكثر بخصوص نظام (System) الأضواء انظر Hawkes العدسات المغناطيسية :

تركز الإلكترونات ( الحزمة الالكترونية) المصدر مبعثرة، فلا بد من تبشير (Focusing) هذه الحزمة لكي تركز على العينه المراد فحصها . وتتم هذه العملية بواسطة عدسات مغناطيسية والتي هي عبارة عن ملفات يمر فيها تيار ثابت فينتج فيض مغناطيس قوي جدا على مدى فتحه صغيره في العدسه معموله عادة من الصلب وقد نحتاج الى وقت طويل وكتاب متخصص لوصف خواص العدسات المختلفه في المجهر الالكتروني . ولغرض التعميم فسنتق، معادله العدسه المغناطيسيه بصوره عامه ، ومنها يمكن التحويل لتصميم العدسات المختصه . وبالنسبه أن جميع العدسات المغناطيسيه في الوقت الحاضر تصمم بواسطة الحاسبات الالكترونيه ، ( Computer aided design )

أن بناء العدسه المغناطيسيه موضح تخطيطيا في الشكل ( 4-9 )  
هناك مركبتان للمجال المغناطيسي فقط ( للتأثل )  $H_z$  محور العدسه باتجاه نصف قطر فتحة العدسه .



شكل (4-9)

القوة المؤثرة على الكترون الذى يسير باتجاه محور العدسة هي :

$$\underline{F} = -e \underline{r} \wedge \underline{H} \quad (5-9)$$

ومركبات هذه القوة هي الاحداثيات الاسطوانيه (Cylindrical coordinate)

$$F_r = -e \theta r H_z \quad (6-9)$$

$$F_\theta = -e z H_r + e r' H_z \quad (7-9)$$

حيث تمثل  $r'$  مشتقه  $r$  مع الزمن .

وكما يلاحظ من المعادلات ، أن  $F_r$  تزداد مع المسافه من مركز العدسة ( محور العدسة ) وهي باتجاه نصف القطر . وهذه هي التي تعطي العدسة خاصية التجميع ( Focusing ) .

اما القوة الزاويه «  $F_\theta$  » فهي تعمل على تدوير الالكترونات ( Rotation ) . وهذا يؤدى الى تدوير الصورة ( Rotation of the Image ) .

ان الاستمرار في كتابة المعادلات الرياضيه لاشتقاق معادلات العدسة المغناطيسيه قد تؤدى الى الملل في مجال كتابنا هذا ، نكتفي بالقول ان العدسة المغناطيسيه هي عدسة سميكه ( Thick Lens ) ، وللسهوله يمكن التقريب باعتبارها عدسة رقيقه . وبذلك يمكن التعبير عن البعد البؤرى (  $f$  ) والخواص الزاويه بالشكل التالي : -

$$\frac{1}{f} = \left( \frac{e}{8mV} \right)^{\frac{1}{2}} \int_0^b H_z dz \quad (8-9)$$

$$\theta = \left( \frac{e}{8mV} \right)^{\frac{1}{2}} \int_0^b H_z^2 dz \quad (9-9)$$

وبالطبع  $V$  فرق الجهد المشار اليه سابقا و  $m$  كتلة الكلكترون . ولو فرضنا ان  $H_z$  هي ثابتة على مدى فتحة العدسة وصفر في ما عداها ( فتحة العدسة ) يمكننا ان نقول :

$$\frac{1}{f} = \frac{e}{8mV} H_z \ell \quad \text{و} \quad G = \left( \frac{e}{8mV} \right)^{\frac{1}{2}} H_z I$$

$$H \propto NI$$

ومن المعروف ان

حيث  $N$  عدد اللفات و  $I$  التيار المار وبذلك يمكن تبسيط المعادلتين اعلاه الى

ما يلي :-

$$P = \frac{K_1 V}{(NI)^2} \quad (10-9)$$

$$G = \frac{K_2 (NI)}{V^{1/2}} \quad (11-9)$$

حيث  $K_1$  و  $K_2$  ثوابت (Constants)

نظرا لتناسب  $(f)$  مع مربع التيار ، فإنه لا يتغير عند تغيير اتجاه التيار وكذلك التكبير . بينما تتناسب  $G$  مع التيار لذلك يحدث دوران في الصورة عند تغير اتجاه التيار في ملف العدسة .

كما قلنا سابقا ان المجهر الالكتروني عدة عدسات وهي :-

١- العدسات المكثفه **condenser lens** وعددها اثنتان وتعمل كعدسة لامة ولاسقاط الحزمه الالكترونيه من المصدر على العينه كحزمه ملمومه نصف قطرها حوالي  $2 \mu m$  .

٢- العدسة الشيئه ( objective ) . وهذه العدسة ذات بعد بؤرى صغير  $3mm$  تقريبا ووظيفتها تكوين الصوره

٣- عدسة وسطيه وعدستان اسقاط لتكبير الصوره بثلاث مراحل واسقاطها على الشاشة الفلورنسيه . حيث يصل التكبير في المجاهر الحديثه الى مليونين مره ، والحصول على تكبير اعلى امر سهل جدا من الناحية التكنولوجيه اذ يحتاج الى تحويل بسيط في عدسات الاسقاط فقط . وكما قلنا سابقا ان الالكترونات مداها قصير جدا في الهواء ، لذلك يجب ان تسير في الفراغ عادة تفزع الاسطوانه التي تحوى على مصدرا لالكترونات والعدسات والشاشه حوالي  $10^{-6} \text{ torr}$  . ويتم ذلك بواسطه اجهزه التفريغ المتصله بالاسطوانه (Column)

## 5.9 العينه التي تفحص بالمجهر الالكتروني .

كما قلنا سابقا ان المجهر يستعمل في مجالات عدة في الفيزياء والطب ودراسة علم المادة وغيرها . لذا فأن طبيعة العينات ستختلف حسب مجال العمل ، بالنسبة لمجالات علوم الحياة ، فأنها على الاكثر تكون من الانسجه ( تحضير النماذج الحياتيه للفحص بالمجهر الالكتروني عملية طويله وتاخذ اكثر وقت الباحثين في هذا المجال ) وفي مجالات الفيزياء قد تكون النماذج من المعادن البلورية أو غير البلورية أو العضوية أو السيراميك والسبائك المختلفة والطبيعة التي تشترك فيها كل هذه النماذج هي ان تكون رقيقة جداً ، فأذا فرضنا أننا نستعمل الكترونات ذات طاقة 100 KV فسمك النماذج بصورة عامة ، يجب ألا يتجاوز  $1000 \text{ \AA}$  وذلك لتمر خلالها الالكترونات دون أن تمتص أو تعكس اتجاه حركتها .

وفي الحقيقة هناك كتب مخصصة تصف طرق تحضير النماذج في كل حاله ولكن نذكر بايجاز ، فمثلا بالنسبة للانسجه ، تثبت اولاً ( fixation ) ومن ثم تدفن في بلاستيك يجرى صلبه بالحراره وتقطع الشرائح بواسطة جهاز يدعى ( Ultra Microtom ) ومن ثم تصبغ بسوائل املاح الذرات الثقيله ( مثلا (Urunium acetet )

اما بالنسبه للمعادن ، فانها تحضر اولاً الى اقراص قطرها 3 mm تقريباً ومن ثم يزال الشخن بواسطة عمليات (Electro chemical thining) الى ان رقيقه وملائمه للفحص . وفي بعض الحالات تبخر النماذج في اجهزة تبخير خاصه (Evaporator) على سطوح خاصه وباسماك ملائمه .

وفي كل الحالات توضع النماذج على قرص ذي قطر 3mm - 2 يشبه المنخل مصنوع من النحاس او الذهب وفي بعض الاحيان من البلاتين يدعى بمحز النموذج ( Specimen grid ) .

ويمسك هذا المحزز في جهاز خاص ويحقن الى داخل اسطوانه المجهر في الموقع المخصص لذلك ويدعى بموقع النموذج ( Specimen stage ). تجري عمليات داينميكيه مختلفة على العينه داخل المجهر اثناء الفحص وخصوصا في البحوث غير البايولوجيه ( الحاله الصلبه وعلم الماده ) ، فمثلا تبريد العينه الى درجة حراره سائل الهليوم اثناء الفحص للدراسة التغيرات في التركيب ، — وخصوصا عند دراسة التوصيل الفائق في المواد والسبائك ( Super conductivity ) أو ان تعرض العينات الى اجهادات خارجيه ( stress ) لدراسة تأثير ذلك والتركيب البلورى للماده على المستوى الذرى وملاحظة حركة الخلع (Dislocation motion).

بصوره داينميكيه . وقد تسخن العينه الى درجات حراره عاليه لدراسة التغيرات في الطور ( phsae transformation )  
وغير ذلك كثير ، وتتم كل هذه العمليات بتركيب اجهزة اضافية وحسب متطلبات البحث في منطقة موقع النموذج ( Specimen stage ) .  
ومن هذه الاجهزه الاضافيه :

- |                   |   |
|-------------------|---|
| 1 - Cooling stage | قرص التبريد                               |
| 2 - Heating stage | قرص التسخين                               |
| 3 - tilting stage | لتبديل وضع العينه بالنسبه لحزمة الالكترون |
| 4 - tensiie stage | الشد                                      |

#### 6.9 تفاعل حزمة الالكترونات مع العينه : -

من المعروف اننا في هذا الكون نرى الاشياء نتيجة استطارة الضوء الساقط عليها

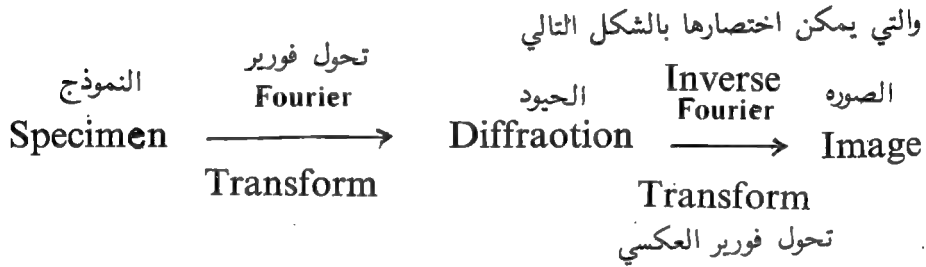
( Scattering properties ) وكذلك

الحال بالنسبة لحزمة الالكترونات حين تمر خلال العينه الصلبه . فان هذه الالكترونات تستطير من قبل ذرات العينه ( Scattered ) ونتيجة لهذه الاستطاره

تحفظ الالكترونات او بعبارة ادق تحمل معلومات عن العينة التي تترجم الى صورة فيها تفاصيل مختلفة . وان قوة الاستطارة هذه للالكترونات تختلف من مادة الى اخرى تعتمد على طبيعة الذرات المكونه للعينة . وقد تكلمنا عن انواع استطارة الالكترونات السريعة من النموذج فصل الالكترونات .

## 7.9 عملية تكوين الصورة في المجهر الالكتروني : Image Formation

في الحقيقة عملية تكوين الصورة في المجهر الالكتروني هي نفس العملية الفيزيائية المعروفة لدى الفيزيائيين (Physical theory of image formation)



اي انه هناك علاقة رياضية محدده وهي تحويل فوريير (Fourier transform) بين العينة والصورة . ويمكن تمثيل ذلك تخطيطيا بالشكل التالي

## الشكل ( 9-1 ) يخبرنا بأن اول عملية هي تكوين الحيود (Diffraction)

في مستوى البعد البؤري للعدسه ( back focal plan e ) ( والعملية

التاليه هي اعادة تركيب الحيود لتعطي الصورة ( Reconstruction ) وهذا يعني اذا اردنا ان نكتفي بالحيود ، فيمكن تسجيله على صفيحة فوتوغرافية ومن ومن ثم عمل تحويل فوريير ( Fourier Transform ) بواسطة الحاسبه الالكترونيه للحصول على الصورة للجسم الخارج المجهر الالكتروني في الحقيقة نستعمل هذا التكنيك في كثير من الحالات ، لانه نحصل على قوة تحليليه عالية ( معلومات دقيقه عن العينه ) ذلك لانه بعد مرور الحزمه الالكترونيه بسلسلة من العدسات ، ونظرا

لان هذه العدسات فيها كثير من العيوب (Chromatic and Nois

## Sperical aberration

فان المعلومات الدقيقه ( على المستوى الذرى ) تفقد او تكون مغموره في التشويش

## 8.9 بعض التطبيقات العلمية في المجهر الالكتروني :

لقد وصف المجهر العالم المعاصر **Caupor** كايور الحائز على جائزة نوبل (١٩٧٤) بأنه من اعظم مكتشفات القرن العشرين ولم يأت وصف عالما هذا للجهاز اعتباطا وانما تقويما للاكتشافات التي حدثت نتيجة لاستعمال المجهر الالكتروني . ومثال على ذلك .

كان العلماء في حيرة من امرهم بصدد عدم تطابق الحسابات النظرية لبعض الخواص الميكانيكية للمواد مثل اجهاد القص (Shear stress)

المحسوبة نظريا مع تلك المستنتجة عمليا ، وكان الاختلاف كبيرا جدا بحيث تزيد القيمة النظرية على القيمة العملية بعشرة الاف مرة مثلا . فلا يمكن ان تختلف النظرية الصحيحة عن الحقيقة الى هذه الدرجة . فوقف الباحثون لاول وهله امام هذه المعضله . فأدعى البعض ان الخطأ ليس في النظرية وانما في التركيب البلوري غير المثالي للمواد فأعترت هذه الفكرة الصائبة حينذاك فلسفه مثاليه لأساس لها من الصحة العملية ،

ولكن جاء المجهر الالكتروني ليتبرجم الفلسفه الى واقع ملموس ويظهر صحة هذه النظرية فأذا ما نظرنا الى ماده بلوريه بواسطة المجهر الالكتروني ، فسنرى حقا العيوب بأشكالها العيوب المستويه ( Stacking fault) والعيوب الخطيه مثل الخلع (Dislocation) وغير ذلك . وهذه العيوب تؤدي الى اضعاف الخواص الميكانيكية للمواد . وبذلك تم حل اكبر مشكله تكنولوجيه واجهت الانسان في العصر الحديث وهي فهم تركيب المواد على المستوى الذري .

من خلال الصوره المأخوذه للمواد بواسطة المجهر الالكتروني ومن الامور - المهمه التي ساهم المجهر الالكتروني في تنميتها وأثبتتها هي الخواص المغناطيسيه للمواد . فقد امكن العلماء ان يضعوا نظريه كميه تفسر ظاهره المغناطيسيه الحديدية (Ferromagnetizm) ومن ثم تصورها بالمجهر وهي كما يلي فقد اعتبرت ان المواد التي لها الخاصه اعلاه يمكن تصورها بالشكل التالي :

اي انه يمكن تقسيم ماده الى مناطق تدعى بالدومنيه يكون فيها اللف (Spin)



في اتجاه واحد ، والمنطقة الفاصلة بين هذه المناطق تدعى بحدود الدومنيه Domain wall .  
 فقد تم تصوير هذه المناطق Domains فعلا بواسطة المجهر وكذلك امكن  
 رؤية الحدود بينهما ( Domain wall ) وكذلك تم حساب عدد الذرات  
 الموجوده في كل دومنيه ويمكن ان نقول هناك كمعدل حوالي  $10^{19}$  ذره في كل دومنيه  
 والشكل (5-9) هو صورة الكترونيه تتوضح فيها الدومينات وان لهذه الخواص المغناطيسيه  
 تطبيقات مهمه في العصر الحاضر فهناك عدة مختبرات تحاول استعمال هذه المواد  
 كمخلايا الحفظ في الحاسبات الالكترونيه بدلا من الخلايا الكهروميكانيكيه المستعمله  
 حاليا وذات الكلفه المرتفعه .

ولكي نعطي مثالا رائعا لما يمكن فهمه بواسطة المجهر الالكتروني الشكل  
 (6-9) الذي يمثل الصوره مجهرية الكترونية للذرات المنفردة (Single atoms)

وطبيعي ان كل ما تقدم حدث نتيجة لتصوير العينات ببعدين (Dimension)  
 وهو التصوير الاعتيادي . ولم يقف العلم عند تصوير الذره بهذا الشكل بل بدأت البحوث  
 على قدم وساق في عدة مختبرات لامكان التصوير بثلاثة ابعاد ( Holography ) .  
 وقد تنجح هذه الطريقه في السنين القادمه ونرى الحقائق عن التركيبات الذريه بثلاثة  
 ابعاد .



شكل (6-9)



شكل (5-9)



## المصطلحات العلمية

|               |              |
|---------------|--------------|
| Abberation    | زئج          |
| Absorption    | امتصاص       |
| Accelaration  | تعجيل        |
| Amplitude     | سعة          |
| Analysis      | تحليل        |
| Angular       | زاوي         |
| Annul         | الغاء        |
| Aperture      | فتحة         |
| Bright        | مضاء         |
| Bonds         | اواصر        |
| Boundary      | حدود         |
| Coherent      | متشاكّة      |
| Column        | اسطوانة جهاز |
| Complementary | مكملة        |
| Composition   | تركيب        |
| Condenser     | مكثفة        |
| Constant      | ثابت         |
| Conventional  | الدارج       |
| Criterion     | معيّار       |
| Crystal       | بلورة        |
| Determination | تعيين        |
| Diagram       | مخطط         |
| Diffraction   | حيود         |
| Directions    | اتجاهات      |
| Discontinuous | غير مستمر    |
| Dislocation   | خلع          |
| Disturbance   | اضطراب       |
| Emission      | انبعاث       |
| Epitexial     | تنميط        |
| Equilibrium   | توازن        |

|                    |                     |
|--------------------|---------------------|
| Evaporation        | تبخير               |
| Exponential        | اسي                 |
| Extinction         | مسافة الامتصاص      |
| Factor             | عامل                |
| Filament           | فتيلة               |
| Filter             | مصفاة               |
| Fixaction          | تثبيت               |
| Frequency          | تردد                |
| Fringes            | اهداب               |
| Grain              | حبة                 |
| Grating            | محزز                |
| Hexgon             | سداسي               |
| Holography         | التصوير بثلاث ابعاد |
| Image              | صورة                |
| Indexing           | جدولة               |
| Indices            | دلائل               |
| Intensity          | شدة                 |
| Interference       | تداخل               |
| Intermediate       | وسطي                |
| Interatomic forces | القوى البينية       |
| Ionization         | تأين                |
| Investigation      | فحص                 |
| Lattce             | شبيكة               |
| Materials          | المواد              |
| Metallurgy         | علم المعادن         |
| Monochromatic      | اشعة احادية الموجة  |
| Noise              | ضوضاء               |
| Obliquity          | عامل الميل          |
| Obstacle           | معوق                |
| Optical Resolution | التحليل البصري      |

|                  |                  |
|------------------|------------------|
| Optics           | بصريات           |
| Orientation      | موقع بالنسبة الى |
| Packing          | رص               |
| Pattern          | نقط              |
| Periodic         | دوري             |
| Phase            | طور              |
| Polarization     | استقطاب          |
| Polycrystalline  | متعدد البلورات   |
| Potential        | جهد              |
| Powder           | محقوق            |
| Primary          | اولي             |
| Production       | انتاج            |
| Properties       | خواص             |
| Quantum          | كمي              |
| Reciprocal Space | الحيز المقلوب    |
| Reflection       | انعكاس           |
| Refraction       | انكسار           |
| Repetition       | تكرار            |
| Rhombohedral     | منشور سداسي      |
| Rotation         | تدوير            |
| Scalar           | كمية غير اتجاهية |
| Scattering       | استطارة          |
| Semiconductors   | اشباه الموصلات   |
| Shear stress     | اجهاد القص       |
| Sinusoidally     | لولبي            |
| Slit             | فتحة او شق       |
| Solution         | سائل             |
| Specimen         | نموذج            |
| Spatial          | مكاني ، موضعي    |

|                |        |
|----------------|--------|
| Stress         | اجهاد  |
| Structure      | بناء   |
| Substitutional | احلال  |
| Symmetry       | تناظر  |
| System         | منظومة |
| Temperature    | حرارة  |
| Thickness      | سمك    |
| Transformation | انتقال |
| Translation    | نقل    |
| Transmission   | اختراق |
| Treatment      | معالجة |
| Unique         | منفرد  |
| Vacuum         | فراغ   |
| Wave           | موجة   |

هنا يوسف اللواتي

متاح للتحميل ضمن مجموعة كبيرة من المطبوعات من صفحة

مكتبتي الخاصة

على موقع ارشيف الانترنت

الرابط

[https://archive.org/details/@hassan\\_ibrahem](https://archive.org/details/@hassan_ibrahem)

## المصادر

- 1 - Andrews, K.W. Interpretation diffraction patterns. (1952).
- 2 - Barrett, C.S. Structure of Metals (1952) Mc Graw. Hill. Inc.
- 3 - Born Max and Wolf Emil, principles of optics (1965)  
Pergamon press.
- 4 - Cullity B.D. Elements of X-ray diffraction (1967)  
ADDISON - WESLEY. LONDON.
- 5 - Francis, T.S. Introduction to diffraction-Information  
processing and the Holography. (1973) MIT press.
- 6 - Fouels, G.R. Introduction to Modern optics (1967) Holt,  
Rinehart and Winston, INC. New York.
- 7 - Hawkes, P.W. Electron optics and Electron Microscopy.  
(1972) Taylor and Francis Ltd. London.
- 8 - Hirsch, P.B. et al Electron Microscopy of thin crystals,  
(1965). Butterworths, London.
- 9 - Kittel, Charles, Introduction to solid state physics (1967).
- 10 - Lipson, H.S. Crystal and X-rays (1970) W.P. London.
- 11 - Mathews J. and Mathematical Methods of physics. (1964)  
Benjamin.  
Walker R.L. New York.
- 12 - Mott, N.F. and The theory of Atomic collisions, (1965)  
Clarendon  
Massey, H.S.W. press. Oxford.
- 13 - Philips, F.C. An introduction to crystallography, (1946)  
Longmans, London.
- 14 - Rymer, T.B. Electron diffraction (1970), Methuen and CO.  
Ltd. London.
- 15 - Thomas, G. Transmission Electron Microscopy of Metals.  
(1962). John Wiley and son, Inc. New York.





الموضوع  
الفصل الاول -

الفهرست

الصفحة

|    |                                       |
|----|---------------------------------------|
| ١١ | الوصف العام للحيود .....              |
| ١٢ | النظرية الأساسية .....                |
| ١٦ | معادلة فرنيل - كيريشوف .....          |
| ١٩ | الفتحات المكتملة - قاعدة بابنيت ..... |
| ٢١ | حيود فرانهورفر وفرنيل .....           |
| ٢٣ | نمط حيود فرانهورفر .....              |
| ٢٧ | فتحة الحيود المستطيلة .....           |
| ٢٩ | الفتحة الدائرية .....                 |
| ٣٢ | التحليل البصري .....                  |
| ٣٥ | الشقوق المتعددة .....                 |
| ٣٩ | القوة التحليلية للمحرز .....          |
| ٤٠ | نمط حيود فرنيل .....                  |
| ٤١ | مناطق فرنيل .....                     |
| ٤٥ | الصفحة ذات المناطق .....              |
| ٤٧ | التصوير بثلاثة أبعاد .....            |
| ٤٨ | اعادة تركيب جبهة الموجة .....         |

الفصل الثاني -

|    |                                     |
|----|-------------------------------------|
| ٥٦ | خواص الاشعة السينية .....           |
| ٦٦ | توليد الأشعة السينية .....          |
| ٦٧ | الأنبوبة ذات الفتيلة .....          |
| ٧٠ | الكشف او تسجيل الأشعة السينية ..... |
| ٧١ | الوقاية من الأشعة السينية .....     |

الفصل الثالث -

|    |                                      |
|----|--------------------------------------|
| ٧٥ | البناء الهندسي للبلورة .....         |
| ٧٨ | الصفوف الدورية للذرات .....          |
| ٧٩ | المتجهات الانتقالية في البلورة ..... |

## الموضوع الصفحة

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| عملية نقل الشبكة .....              | ٨١ |
| الموقع داخل وحدة البناء .....       | ٩٢ |
| بعض التراكيب البلورية البسيطة ..... | ٩٢ |
| الكثافة الكتلية للبلورات والمسافات  |    |
| البنية للذرات .....                 | ٩٣ |

## الفصل الرابع -

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| اتجاهات الحزم المساندة ..... | ٩٩  |
| حيود الأشعة السينية .....    | ١٠٠ |
| قانون براك .....             | ١٠٤ |
| اتجاهات الحيود .....         | ١٠٨ |
| طرق الحيود .....             | ١١٠ |
| طريقة تدوير البلورة .....    | ١١٣ |
| طريقة المسحوق .....          | ١١٦ |

## الفصل الخامس -

|   |     |
|---|-----|
| شدة الحزم المحادة .....                   | ١٢١ |
| استطارة الأشعة السينية من الالكترون ..... | ١٢٣ |
| الاستطارة من ذرة منفردة .....             | ١٢٧ |
| الاستطارة من وحدة البناء البلوري .....    | ١٣٠ |
| حسابات عامل البناء .....                  | ١٣٨ |
| التأثير الحراري .....                     | ١٤٤ |
| بعض التطبيقات لحيود الاشعة السينية .....  | ١٤٦ |

## الفصل السادس -

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| بعض التطبيقات العملية للحيود ..... | ١٠١ |
| تعين مخطط الطور .....              |     |

|  |     |
|--|-----|
| التحليل الكيمياوي بواسطة الحيوود ..... | ١٦١ |
| التحليل النوعي .....                   | ١٦٣ |

## الفصل السابع -

|  |     |
|--|-----|
| الخاصية الموجبة للالكترونات .....                              | ١٦٧ |
| النظريــــــــــــــــة الحركيــــــــــــــــة المجردة لحيوود |     |
| الالكترونات .....  | ١٧٣ |
| تفسيرات نمط الحيوود الالكتروني .....                           | ١٩٤ |
| تعين وحدة البناء البلوري من نمط                                |     |
| حيوود بلورة احادية .....                                       | ١٩٦ |
| تأثير الانكسار .....   | ١٩٩ |
| حيوود الالكترونات ذات الطاقة العالية .....                     | ٢٠٢ |
| حيوود الالكترونات ذات الطاقة الواطئة .....                     | ٢٠٥ |

## الفصل الثامن -

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| حيوود النيوترونات ..... | ٢٠٧ |
|-------------------------|-----|

## الفصل التاسع -

|  |     |
|--|-----|
| المجهر الالكتروني .....                      | ٢١١ |
| القوة التحليلية .....                        | ٢١٢ |
| مكونات المجهر الالكتروني .....               | ٢١٥ |
| مصدر الحزمة الألكترونية .....                | ٢١٦ |
| العينة التي تفحص بالمجهر الالكتروني .....    | ٢٢١ |
| عمليــــــــــــــــة تكوين الصورة من المجهر |     |
| الالكتروني .....                             | ٢٢٣ |
| بعض التطبيقات في المجهر الالكتروني .....     | ٢٢٤ |



## تصويب الاخطاء

| الخطأ   | الصواب  | الصفحة    | السطر   |
|---|---|-----------|---------|
| المصطلح مقلوب                                 | (Thomas and Reid<br>Davission and Germer)     | ١٦٧       | ٤       |
| شكل 4-6                                       | مقلوب ومدور                                   | ١٥٨       |         |
| شكل 4-7                                       | 3-7   | ١٧٢       |         |
| شكل 3-7                                       | 4-7   | ١٧٢       |         |
| شكل 2-4                                       | 3-4   | ١٠٣ و ١٠٢ |         |
| cos (wir)                                     | cos (n,t)                                     | ١٩        | ٧       |
| (r+r)   | (r+r)   | ٢١        | ١٤      |
| $n \lambda = h \sin$                          | $n \lambda = d \sin \theta$                   | ٣٩        | ١٦      |
| $\frac{(I \text{ trans})}{(I \text{ incid})}$ | $\frac{(I \text{ trans})}{(I \text{ incid})}$ | ٧٢        | ١٩ و ١١ |

مكتبة جامعة الكويت

هنا يوسف اللبكي

متاح للتحميل ضمن مجموعة كبيرة من المطبوعات من صفحة  
مكتبتي الخاصة  
على موقع ارشيف الانترنت  
الرابط

[https://archive.org/details/@hassan\\_ibrahem](https://archive.org/details/@hassan_ibrahem)

الجامعة التكنولوجية - مركز التعريب والنشر  
بغداد ١٩٨٢ م / ١٤٠٢ هـ

رقم الايداع في المكتبة الوطنية ببغداد (٦٦٠) لسنة ١٩٨١

هنا يوسف اللواتي

متاح للتحميل ضمن مجموعة كبيرة من المطبوعات من صفحة  
مكتبتي الخاصة  
على موقع ارشيف الانترنت  
الرابط

[https://archive.org/details/@hassan\\_ibrahem](https://archive.org/details/@hassan_ibrahem)



~~25.11.85~~  
2.5.88

تاريخ ١١/١٤٤٤

جامعة الفاتح  
مكتبة كلية العلوم

التصنيف

~~5355~~  
JPr

رقم الكتاب

~~2089~~



هنا يوسف اللواتي

متاح للتحميل ضمن مجموعة كبيرة من المطبوعات من صفحة

مكتبتي الخاصة

على موقع ارشيف الانترنت

الرابط

[https://archive.org/details/@hassan\\_ibrahem](https://archive.org/details/@hassan_ibrahem)

مطبعة  
الجمهورية العربية السورية

تصميم - نجاة خلف